



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**OPTIMALIZACE VAKUOVÉHO ODVZDUŠNĚNÍ  
VSTŘIKOVACÍ FORMY**

OPTIMIZATION OF THE VACUUM DEAERATION OF THE INJECTION MOLD

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Marie Rohlínková**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Bohumil Kandus**

**BRNO 2018**

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Studentka: **Bc. Marie Rohlínková**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Bohumil Kandus**  
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Optimalizace vakuového odvzdušnění vstřikovací formy

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Odvzdušnění vstřikovací formy má zajišťovat únik vzduchu a plynů uvolňovaných taveninou plastu při jejím plnění tvarové dutiny formy. Doba vstřikování je obvykle krátká a odvádění vzduchu proto musí být velmi účinné. Pokud odvzdušnění formy správně nefunguje, dochází k nedokonalému plnění tvarové dutiny taveninou a uzavírání komprimovaného vzduchu při současném zvyšování jeho teploty. Vakuové odvzdušnění jako zvláštní způsob rychlého odvedení vzduchu je konstrukční systém ve formě, který odsává vzduch po celou dobu plnění dutiny formy. Diplomová práce má vyhodnotit tyto systémy odvzdušnění forem.

### Cíle diplomové práce:

Cílem práce je porovnání vybraných hodnocených parametrů jako výsledku standardního a vakuového odvzdušnění v rámci provedeného technického experimentu na více vstřikovacích formách. Součástí práce je vypracování rámcové konstrukční výkresové dokumentace vstřikovací formy s vakuovým odvzdušněním doplněné potřebnými výpočty pro určený plastový dílec.

### Seznam doporučené literatury:

SOVA, Miloš a Josef KREBS. Termoplasty v praxi. 1. vyd. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. ISBN 80-86229-15-7.

ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů. 1. vyd. Praha: Nakladatelství BEN, 2009. ISBN 978-80-73-0-250-3.

MENGES, Georg, Walter MICHAELI a Paul MOHREN. How to Make Injection Molds. 3rd ed. Munich: Carl Hanser Verlag, 2000. ISBN 3-446-21256-6.

WOEBCKEN, Wilbrand. International Plastics Handbook: for the Technologist, Engineer and User. 3rd ed. Munich: Carl Hanser Verlag, 1995. ISBN 1-56990-182-1.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

ROHLÍNKOVÁ Marie: Optimalizace vakuového odvzdušnění vstřikovací formy.

---

Práce předkládá návrh optimalizace odvzdušnění forem vykazujících bubliny nebo nízkou kvalitu studených spojů. Na základě literární studie problematiky odvzdušnění vstřikovacích forem bylo navrženo použití vakuového odvzdušnění, konkrétně systému VACUUMJET španělského výrobce CUMSA. Provedené experimenty potvrdily eliminaci bublin v dílu a výrazné zlepšení vizuální kvality studených spojů. Vliv na uzavírací sílu potvrzen nebyl. Použití systému je ekonomicky výhodnější pro výrobu ve větších sériích, nebo při vysokých požadavcích na kvalitu dílu umožňující navýšení ceny.

Klíčová slova: Odvzdušnění, vakuové odvzdušnění, vstřikování, vstřikovací forma

## **ABSTRACT**

ROHLÍNKOVÁ Marie: Optimization of the vacuum deaeration of injection mold.

---

The project elaborated design of optimization venting of molds exhibiting bubbles or low quality weld lines. Based on a literature study of the injection mold venting, the use of vacuum venting, namely the VACUUMJET system of the Spanish CUMSA manufacturer, has been proposed. The experiments proved the elimination of bubbles in the part and the marked improvement of visual quality of the weld lines. The effect on the closing force was not confirmed. The use of the system is more economical for larger batches production, or when high quality parts are required that allow price increasing.

Keywords: Venting, vacuum venting, injection molding, injection mold

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

ROHLÍNKOVÁ, Marie. *Optimalizace vakuového odvzdušnění vstřikovací formy*. Brno, 2018. 55s, 4 výkresy, 5 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Bohumil Kandus

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracovala samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V ..... dne 25.5.2018

.....  
Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Bohumilovi Kandusovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Děkuji kolektivu společnosti Arburg, obzvláště panu Ing. Danielovi Orlovi, Ph.D., panu Ing. Jaroslavovi Novákovi, CSc., a panu Pavlu Tenčíkovi za umožnění realizace a odborné vedení experimentu, poskytnuté informace a cenné konzultace. Děkuji kolektivu společnosti CECHO - Bohumil Cempírek, panu Tomášovi Filippimu, panu Bc. Erikovi Štěpánovi, MSc., panu Miroslavovi Kubátovi a neznámému konstruktérovi za poskytnuté informace, umožnění a odborné vedení experimentu. Děkuji panu Lubomírovi Cinkovi za umožnění realizace experimentu ve firmě CPLAST. Velice děkuji panu Ing. Jiřímu Gabrielovi za realizaci plnicí studie. V neposlední řadě děkuji rodině a přátelům za projevenou podporu a trpělivost.

# OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

	Str.
<b>ÚVOD</b>	9
<b>1 ROZBOR ZADÁNÍ</b>	10
1.1 Možnosti řešení	11
<b>2 VAKUOVÉ ODVZDUŠNĚNÍ</b>	13
2.1 Vliv materiálu na odvzdušnění	13
2.2 Vliv technologických parametrů na odvzdušnění	15
2.3 Vliv konstrukce stroje na odvzdušnění	17
2.4 Vliv konstrukce formy na odvzdušnění	18
2.3.1 Počítačová simulace plnění formy	20
2.5 Vady při nevhodném odvzdušnění	21
2.5.1 Spáleniny	22
2.5.2 Studené spoje	23
2.5.3 Nedostřiky a bubliny	23
2.6 Konstrukce zařízení pro vakuové odvzdušnění	24
<b>3 NÁVRH ŘEŠENÍ</b>	26
3.1 Metodika experimentu	28
3.2 Realizace experimentu krabička	29
3.2.1 Popis stroje, nástroje a materiálu	31
3.2.2 Výpočet velikosti odvzdušňovacích drážek a uzavírací síly	33
3.2.3 Průběh experimentu a výsledky	36
3.3 Realizace experimentu obojek	41
3.3.1 Popis stroje, nástroje a materiálu	42
3.3.2 Výpočet velikosti odvzdušňovacích drážek	45
3.3.3 Průběh experimentu a výsledky	46
3.4 Zhodnocení experimentu	49
3.5 Rámcový návrh formy s vakuovým odvzdušněním	51
<b>4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ</b>	53
<b>5 ZÁVĚRY</b>	55

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Seznam výkresů



## ÚVOD [1;2;3;4]

Plasty, ačkoliv jsou poměrně mladé, dnes mezi materiály zaujímají velmi významnou pozici a lze se s nimi setkat všude. Jejich rozvoj a popularita je způsobena především jejich ekonomicky výhodným zpracováním a širokou škálou vhodných materiálových vlastností, jako je například nízká hustota. Pro výrobu plastových výrobků se v závislosti na druhu plastu a charakteru vyráběného dílce vyvinula celá řada technologií. V průmyslu jsou díky své možnosti opakovaného tváření a tvarování dominantním druhem termoplasty, které lze zpracovávat vstřikováním (obr. 1 a obr. 2), vytlačováním (obr. 3) a vyfukováním (obr. 4) s případným následným ohýbáním, tvarováním nebo svařováním.

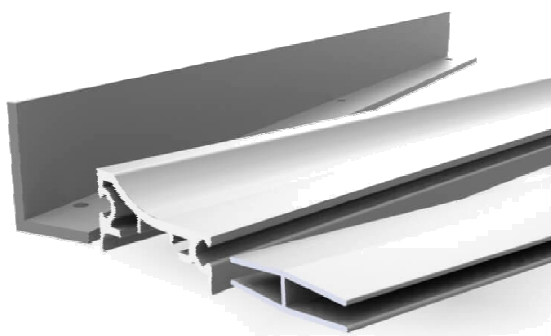
Pro výrobu technických dílů je nejpoužívanější vstřikování spočívající ve výrobě hotových součástí bez nutnosti dalšího opracování. Jedná se o velmi produktivní cyklický proces umožňující výrobu desítek až stovek kusů za minutu. Na kvalitu výstřiků a délku výrobního cyklu má vliv mnoho faktorů, z nichž mnohé jdou proti sobě. Jedním z takových faktorů je odvzdušnění, které nejlépe funguje při nízkých vstřikovacích rychlostech. Nízké vstřikovací rychlosti, ale způsobují mimo jiné prodloužení cyklu a tím zhoršují ekonomičnost výroby.



Obr. 1 Vstřikovací forma na lego kostky [1]



Obr. 2 Vstřikovaná lego kostka [2]



Obr. 3 Profily vyráběné vytlačováním [3]



Obr. 4 Forma na vyfukování lahví [4]

## 1 ROZBOR ZADÁNÍ [5; 6; 7],

Optimalizace odvzdušnění byla řešena na dvou formách vykazujících zvýšenou zmetkovitost z důvodu nevhodného nebo nedostačujícího odvzdušnění.

První z nich byla forma na svačinovou krabičku firmy Arburg. Tato forma je trochu netypická tím, že byla dimenzována na konkrétní stroj, který je používán pro demonstraci na veletrzích, případně na školeních pro seřizovače. Protože se nejedná o zakázkovou výrobu, mohly být parametry nastavovány bez ohledu na délku cyklu, která je při snaze o dosažení co nejefektivnější a nejhospodárnější výroby klíčová. V případě změny parametrů vedoucích ke zrychlení procesu docházelo v místech nejvzdálenějších od vtoku k tvorbě bublin poukazujících na nedostatečné odvzdušnění (obr. 5).



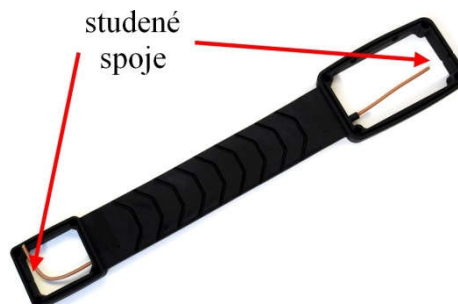
Obr. 5 Řešený díl - krabička



Obr. 6 Sídlo brněnské pobočky Arburg [5]

Společnost Arburg byla založena v Loßburgu roku 1923 a poměrně brzy se začala specializovat na výrobu vstřikovacích strojů. Podnik klade důraz na tradiční hodnoty a vedení je stále v rukou potomků zakladatele. Pobočka v Česku poskytující servis a školení pro obsluhu vznikla roku 1996 v Praze a v roce 2004 byla přestěhována do Brna (obr. 6).

Druhý díl je součást lokalizačního obojku pro psy vyráběný firmou CECHO. Díl má dva otvory, takže při plnění dochází k rozdělení taveniny na dva proudy a následnému spojení, kterému se říká studený spoj (obr. 7). Kvalita studeného spoje, která zde byla příčinou vyřazení mnohých dílů, je ovlivněna efektivitou odvedení vzduchu uzavřeného mezi čely proudů taveniny. Kromě neestetického neúplného spojení obou proudů spoje ani neměli dostatečnou pevnost a byly náchylné na roztržení.



Obr. 7 Řešený díl - obojek



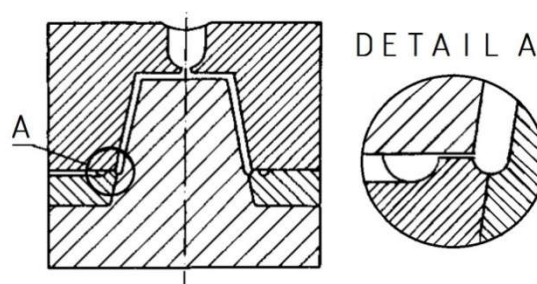
Obr. 8 Sídlo firmy CECHO [7]

Společnost CECHO – Bohumil Cempírek byla založena roku 1995 a od počátku se věnovala prodeji horkých vtokových systémů. Posléze se jejich působení rozšířilo i na další normalizované součásti forem. V současnosti firma na českém trhu zastupuje spoustu zahraničních společností. Ve svém sídle v Polničce u Žďáru nad Sázavou provozuje kromě obchodu i vlastní nástrojárnu a vstřikovací provoz.

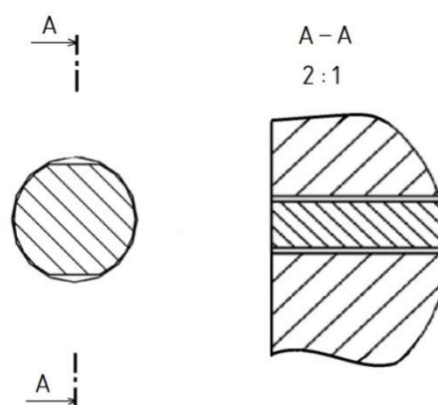
## 1.1 Možnosti řešení [8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20],

Nutnost věnovat zvýšenou pozornost odvědušnění formy vyvstala v 80. - 90. letech 20. století s rozvojem elektroerozivního hloubení a začátkem jeho použití při tvorbě tvarových dutin forem. Dříve byla tvarová dutina vytvořena z více výrobně výhodných kusů a vzduch při plnění unikl vůlemi mezi jednotlivými dílci. U forem s elektroerozivně vyhloubenou dutinou však tyto vůle zmizely a vzduch mohl unikat pouze dělicí rovinou, což je pro tvarově složité a hluboké tvary nedostatečné. V reakci na tuto situaci a zvyšování kvalitativních nároků vznikla potřeba hledat řešení odvědušnění formy. Základní jsou pasivní metody, kdy je vzduch z dutiny tlačěn taveninou úzkou mezerou v rámci konstrukce formy, například odvědušňovací kanálky, svazek lamel a porózní vložky. Méně používaný je aktivní způsob, kdy je odchod vzduchu podpořen vyvinutím podtlaku za pomoci vakuového systému nebo dynamických ventilů. V praxi se nejčastěji používají následující elementy:

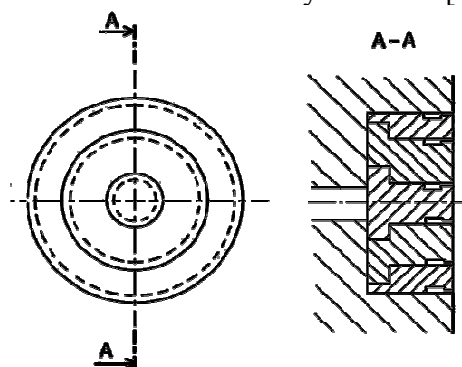
- Odvědušňovací kanálky - v dělicí rovině jsou vyfrézovány speciální drážky spojující tvarovou dutinu s volným prostorem. Na straně u dutiny jsou drážky zúženy tak, aby nedošlo k přetoku taveniny. Za tímto krčkem následuje rozšíření kvůli snížení odporu vzduchu (obr. 9). Jedná se o jeden z nejjednodušších a nejčastěji používaných způsobů odvědušnění. Lze použít pouze v případě, že k uzavření vzduchu dojde u dělicí roviny.
- Vyhazovače a kolíky- vyhazovače lze k odvědušnění použít, jsou-li umístěny tam, kde dochází k uzavření vzduchu, odvědušňovací kolíky lze umístit skoro kamkoliv. Vzduch může unikat zvětšením vůle v uložení, případně malým sbroušením vyhazovače nebo kolíku (obr. 10). Oba elementy způsobují vznik otisku a je nutno je umístit tak, aby otisky nebyly na pohledové straně. Výhodou vyhazovačů je čištění vyvozené jejich pohybem při vyhazování dílů.
- Odvědušnění svazkem lamel – se používá pro velkoplošné výstřiky, případně při použití více vtoků, kdy je obtížné určit místo, kde dojde k uzavření plynů. Lamely, které mají na straně u dutiny vybrání spojené s výstupním otvorem, jsou naskládány vedle nebo na sebe. Mohou být rovné pro odvědušnění ploch nebo kruhové pro odvědušnění jader (obr. 11). Jejich nevýhodou je, že zanechávají na výstřiku stopy a mohou kolidovat s chladicím systémem.



Obr. 9 Odvědušňovací kanálek [8]

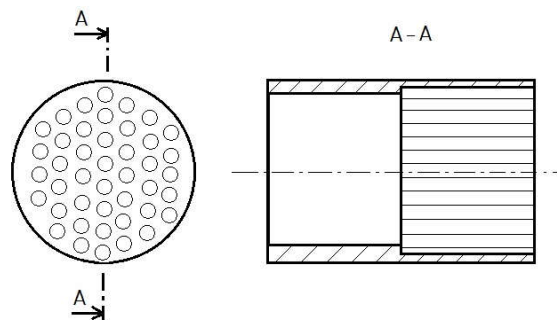


Obr. 10 Sbroušení vyhazovače [9]



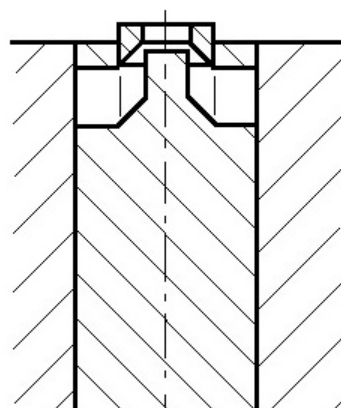
Obr. 11 Odvědušnění svazkem lamel [8]

- Slinované materiály - skýtají dvě možnosti použití. Jednou z nich je výroba vložek s velkým počtem otvorů o velmi malém průměru napojených na odvzdušňovací systém (obr. 12). Další možností je výroba velmi porézního materiálu, skrze který může vzduch unikat. Pokud porézní vložka spojuje dutinu a temperační kanálek, pak je vzduch díky proudící kapalině aktivně z dutiny vysáván. Otvory i póry ve slinutých materiálech jsou velmi malé, proto se často ucpávají a také neumožňují vytvoření lesklého povrchu.



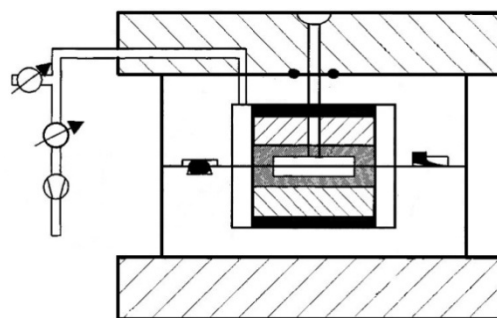
Obr. 12 Slinovaná vložka s otvory [9]

- Dynamické ventily – umožňují vzduchu rychlý odchod po dobu plnění a pod tlakem taveniny se sám uzavírá. Pro starší konstrukce ventilů (ECOVENT) je nutno vytvořit další dutinu a odvzdušnění probíhá v tzv. řízeném přetoku, který může být umístěn za dílem nebo na studeném vtoku. Novější konstrukci (SGD ventil) je možno použít v kterékoli části formy a umožňuje-li to tloušťka dílu kvůli zdvihu ventilu, tak nezanechává žádné stopy (obr. 13). K zajištění opětovného otevření ventilu je nutno do něj z druhé strany po každém cyklu pustit tlakový vzduch.



Obr. 13 Dynamický ventil [10]

- Vakuové systémy – fungují na principu odčerpání vzduchu ještě před zahájením vstřikování a tím vytvoření podtlaku v dutině formy. Podtlak je generován vývěvou nebo pomocí Venturiho trubice a odvod plynů je skrze speciální ventil nebo vřemí ve vyhazovačích. Forma a všechny její pohyblivé části musí být utěsněny, aby bylo odčerpání možné a udržitelné v průběhu plnění (obr. 14). Tento způsob je náročnější na vstřikovací stroj, který musí být vybaven vakuovým systémem, nebo musí umožňovat řízení přídatného zařízení.



Obr. 14 Vakuově odvzdušněná forma [8]

Obě formy byly původně vybaveny pasivním odvzdušněním v podobě drážek v dělicí rovině, které se ukázaly jako nedostačující, proto je nutno zvolit některý z aktivních způsobů. Jako nejvhodnější z nich se díky svým kompaktním rozměrům, dostupnosti a uživatelsky příznivé obsluze jeví vakuový systém výrobce CUMSA, který bude dále řešen z hlediska teorie i praxe.



## 2 VAKUOVÉ ODVZDUŠNĚNÍ [13]

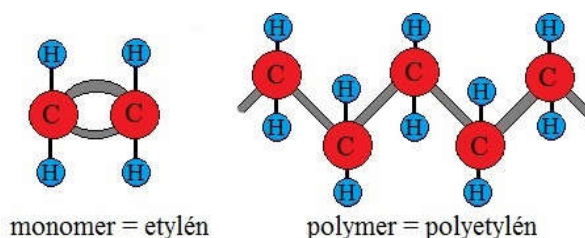
Odvzdušnění za pomoci podtlaku se objevuje posledních několik desetiletí (první vakuové systémy vznikly na konci 90. let 20. století) a jeho vznik byl podmíněn vývojem nových materiálů a technologií, u kterých klasické odvzdušnění nevykazovalo dobré výsledky nebo nebylo možné vůbec. Jedná se především o zpracování vysoce tekutých materiálů a výrobu velice malých a velmi přesných dílů tzv. mikrovstřikování. Další oblastí využití vakuování je vstřikování jiných než termoplastických materiálů (reaktoplastů a elastomerů), které mají jiný charakter toku ve formě. Použití podtlaku při odvzdušnění však může být účinným pomocníkem i u spousty dalších aplikací. Kromě odstranění nebo značného snížení estetických vad může zlepšit životnost nástroje, prodloužit čas mezi odstávkami na údržbu případně i zkrátit vstřikovací čas, díky možnosti použití vyšší rychlosti plnění.

Vstřikování je velmi komplexní proces, na který působí velké množství vlivů, které se navzájem ovlivňují, a každý z nich může být zdrojem vad. K pochopení problematiky odvzdušnění jako takového a stanovení vhodnosti či nutnosti použití vakuového systému, jeho umístění a parametrů jsou třeba základní znalosti o technologii, materiálu, možnostech stroje a konstrukci nástroje.

### 2.1 Vliv materiálu na odvzdušnění [8], [11], [14], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26]

Plasty jsou materiály tvořené makromolekulární látkou syntetického nebo přírodního charakteru. Tato látka vzniká z jednoduchých chemických sloučenin (monomerů), které jsou tzv. polyreakcí řetězeny do lineárních řetězců – makromolekul. Ty se pak u různých druhů mohou větvit nebo spojovat příčnými vazbami (zesítení), což ovlivňuje charakter daného materiálu. Výsledné vlastnosti jsou usměrněny plnivý a přísadami, které ovlivňují fyzikální a mechanické vlastnosti, chemickou odolnost a zpracovatelnost.

Monomery jsou převážně získávány z ropných frakcí a zemního plynu, nejčastěji jsou plynného skupenství (etylen, propylen, vinylchlorid atd.). Pro materiály zpracováváné vstřikováním je nejčastější polyreakcí tzv. polymerace, kdy jsou monomery řetězeny bez vzniku dalších



Obr. 15 Polymerace polyetylenu [20]

produktů (obr. 15). K opačnému pochodu, tedy rozkladu polymerů dochází při přehřátí materiálu. Tomuto procesu se říká termální degradace a z konců řetězců jsou při ní uvolňovány jednotlivé monomery (většinou plynného skupenství). Kromě nutnosti odvedení plynných zbytků má degradace vliv i na kvalitu materiálu, protože dochází ke zkracování makromolekul a tím zvýšení tekutosti taveniny a snížení mechanických vlastností ztuhlého materiálu. Náchylnost k degradaci i vznikající zplodiny jsou různé, přičemž nejnáchylnější jsou materiály s kyslíkem v základní vazbě jako je POM. Z pohledu vznikajících zplodin je nejnebezpečnější PVC, při jehož rozkladu vzniká HCl vytvářející značně korozivní prostředí.

Z plniv jsou nejrizikovější halogenové retardéry hoření. Ty mají za úkol znesnadnit zapálení materiálu a pomoci jeho uhašení. U halogenových prvků dojde při zvýšení teploty k jejich rozkládání a uvolňování velkého množství plynů, které vytváří v okolí materiálu atmosféru s nízkým obsahem kyslíku. Teploty rozkladu halogenu jsou blízké zpracovatelským teplotám a je nutno výrobní proces nastavit tak, aby k rozkladu nedošlo v jeho průběhu.

Z pohledu vazeb mezi makromolekulami a tím spojeného chování za zvýšené teploty lze plasty rozdělit na:

- Termoplasty – s rostoucí teplotou měknou a tají, za zvýšené teploty je možné je tvarovat nebo opakovaně roztavit a ochlazením převést zpět do tuhého stavu.
- Reaktoplasty – se vytvrzují chemickou reakcí, při které dojde k zesíťování struktury. Vytvrzení reaktoplastů je nevratné, což je činí netavitelnými a nerozpustnými.
- Elastomery – mají řídce zesíťovanou strukturu a jsou typické svými elastickými vlastnostmi (snadná pružná deformace) v určitém rozsahu nezávislými na teplotě.

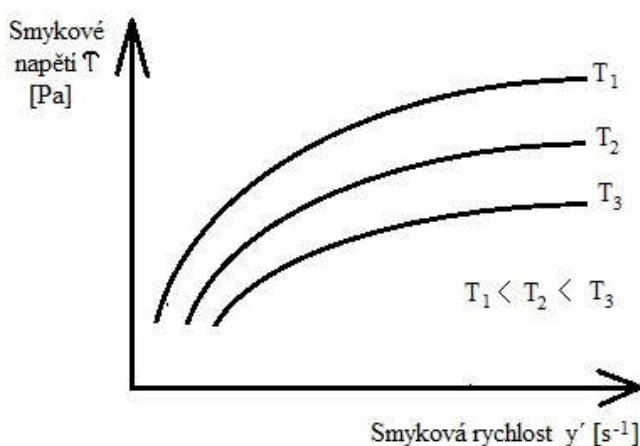
Vznik zesíťení u elastomerů a reaktoplastů je podmíněn setrváním na zvýšené teplotě a před jejím dosažením je materiál v plastickém stavu. Proto je nutno ke zpracování těchto materiálů přistupovat jinak, než je tomu u termoplastů. Zároveň je při zesíťování uvolňováno velké množství plynů, které je nutno odvést.

Z pohledu zpracovatelnosti jsou nejdůležitější tzv. reologické vlastnosti, které popisují deformaci a tok hmoty.

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (2.1)$$

kde:  $\tau$  [Pa]      smykové napětí  
 $\eta$  [Pa.s<sup>-1</sup>]      dynamická viskozita  
 $\dot{\gamma}$  [s<sup>-1</sup>]      smyková rychlost

Tok látky je dán její dynamickou viskozitou (2.1), která je u plastů závislá na teplotě  $T$  a smykové rychlosti  $\dot{\gamma}$ . Smyková rychlost se při zpracování taveniny plastu pohybuje mezi 10 až 10<sup>5</sup> s<sup>-1</sup> a doporučená dynamická viskozita pro vstřikování je 10<sup>3</sup> až 10<sup>4</sup> Pa.s<sup>-1</sup>. V praxi se



Obr. 16 Toková křivka polymerního materiálu [24]

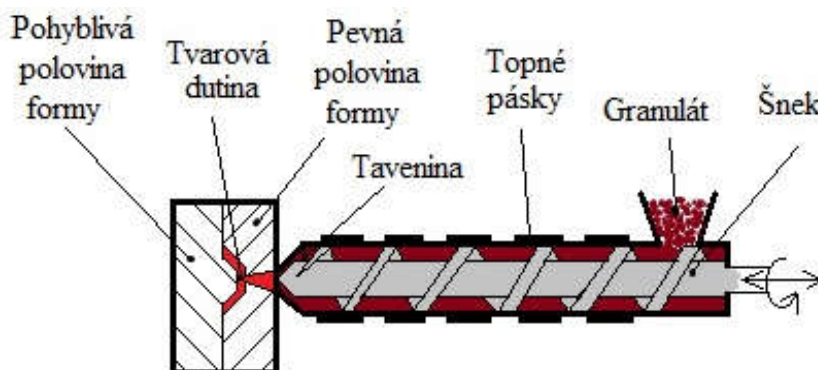
pro popis reologie materiálu používá index toku taveniny ITT. Jde o srovnávací číslo udávající objem taveniny, který za daný časový úsek při dané teplotě a tlaku protekl definovanou kapilárou. Tento popis není zcela směrodatný, protože ukazuje chování taveniny pouze při jednom stavu zatížení. Větší vypovídající hodnotu mají tokové křivky materiálu udávající závislost smykového napětí na smykové rychlosti při různých teplotách (obr. 16).

Z hlediska odvzdušnění jsou náročné materiály, které mají velmi nízkou viskozitu, tedy vysokou tekutost a zatékají tak i do velmi malých mezer.

Nejproblematictější skupina materiálů s nízkou viskozitou jsou silikonové kaučuky, někdy označovány zkratkou LSR (liquid silicon rubber). Tyto materiály patří mezi elastomery, to znamená, že mají řídce zesíťovanou strukturu a jsou velice elastické v širokém pásmu teplot. Jejich zpracování vstřikováním je možné, ale musí splňovat určité předpoklady (vytvrzení je realizováno chemickou reakcí za zvýšené teploty, ke které nesmí dojít dříve, než je materiál v tvarové dutině). Díky nízké viskozitě jsou silikonové schopny zatéct i do mezer menších než 0,01, a v případě vzniku přetoku se otřep kvůli pružnosti materiálu velice špatně odstraňuje.

## 2.2 Vliv technologických parametrů na odvzdušnění [24; 25; 26; 24; 25; 26; 27; 28; 29; 30; 31]

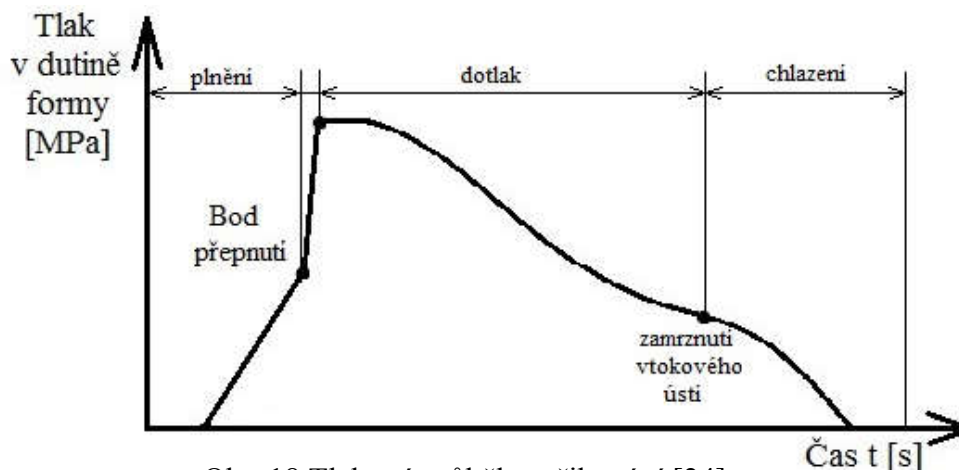
Vstřikování je technologie tváření plastů, při které se materiál teplem (vzniklým třením šneku s materiálem a ohřevem topnými válci) převede do plastického stavu a působením tlaku dopraví do uzavřené tvarové dutiny odpovídající negativu tvaru dílce, ze které je po vychladnutí vyjmut (obr. 17).



Obr. 17 Schéma vstřikování [24]

Z časového hlediska má vstřikování pět fází:

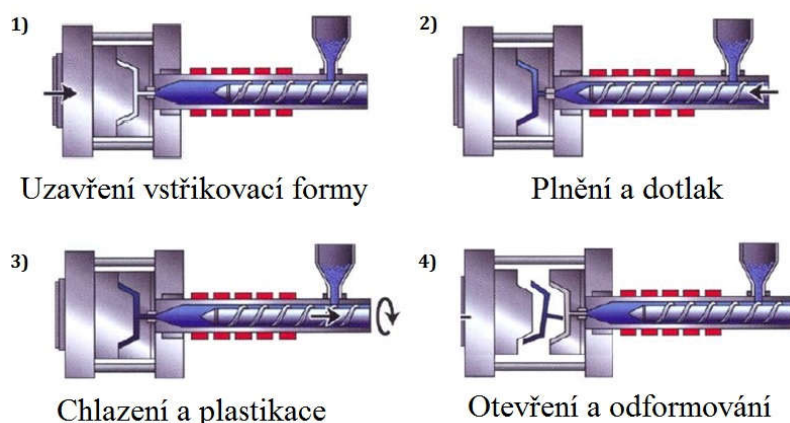
1. Dávkování a plastikace – probíhá v plastifikační jednotce stroje. Otáčením šneku ve vyhřívaném válci se materiál ohřívá a v podobě taveniny o teplotě  $T_t$  se hromadí před jeho čelem. Tato tavenina tvoří vstřikovací dávku, která by měla postačit pro naplnění formy i pro doplňování úbytků vzniklých smrštěním v průběhu chlazení.
2. Vstřikování a komprese – je plnění dutiny formy uzavřené uzavírací silou  $F_u$ , předehřáté na teplotu  $T_f$ , pohybem šneku nebo pístu ve směru jeho osy. Vstřikování je definováno vstřikovacím tlakem  $p_v$  (vstřikovací síla vztažená na jednotku plochy čela šneku), který určuje vstřikovací rychlost  $v_s$  (rychlost proudění taveniny do dutiny formy). Vstřikovací rychlost by měla být v každém průřezu dutiny konstantní.
3. Dotlak – v této fázi je doplňován materiál změnou vstřikovacího tlaku na dotlak  $p_d$  (obr. 18), při kterém jsou kompenzovány úbytky materiálu vyvolané smrštěním hmoty při chladnutí.
4. Chlazení – na teplotu odformování zabírá více než polovinu doby vstřikovacího cyklu.
5. Vyjmutí – probíhá po otevření formy, kdy je buď za pomoci mechanického zařízení (vyhazovače), nebo impulsem stlačeného vzduchu ochlazený materiál vyhozen.



Obr. 18 Tlakový průběh vstřikování [24]

Z hlediska odvzdušnění je nejdůležitější částí cyklu fáze plnění, ale nezanedbatelný vliv mají i pochody jí předcházející, jako je plastikace a sušení. Mnohé materiály (nejvíce PA nejméně PP, PS) a přísady (např. talek) mají tendenci vázat na sebe vodu (navlhat). Tato voda by se mohla uvolnit při ohřevu materiálu v podobě páry. Část z ní může odejít přes násypku společně se vzduchem unikajícím z mezer mezi jednotlivými granulemi při jejich roztavení. Ale část by se mohla uzavřít v tavenině a způsobovat mimo jiného i degradaci taveniny (tzv. hydrolytická degradace) a tím vznik dalších plynů v komoře plastikační jednotky, které způsobují pohledové vady na vystříknutém dílcí. Proto je nutno materiály sušit ve speciálním zařízení.

Další důležitou částí procesu (obr. 19) je plastikace. Zde musí docházet k co nejrychlejší obměně materiálu tak, aby nedošlo k jeho degradaci vlivem dlouhodobého vystavení vysoké teplotě. Dostane-li se plyn z degradovaného materiálu před čelo šneku, pak bude vtlačen do dutiny formy společně s vstřikovanou dávkou. Před čelo šneku se může vzduch dostat i v případě, že jsou špatně nastavené hodnoty první dekomprese. Při dekompresi dochází k posunutí šneku směrem zpět za účelem uvolnění tlaku v tavenině před jeho čelem po ukončení cyklu. Pokud je tento pohyb moc rychlý, pak dojde k nasátí vzduchu.



Obr. 19 Pohyby stroje a nástroje při vstřikování [31]

Klíčovou fází pro odvzdušnění je plnění. Před jeho zahájením je forma uzavřena uzavírací silou vyvozenou uzavíracím mechanismem. Její velikost by měla být v rovnováze se silou vyvozenou tlakem taveniny v dutině formy. Pokud bude síla nižší, pak může dojít k otevření formy a tvorbě přetoků. Bude-li síla značně vyšší, nebude formě umožněno tzv. dýchnutí, tedy její chvilkové pootevření (v řádu setin milimetru a setin sekund) při zahájení vstřikování. Toto pootevření umožňuje odchod části vzduchu ať už uzavřeného v dutině nebo nahromaděného před čelem šneku. V některých vhodných případech může být uzavírací síla v počátku vstřikování snížena záměrně za účelem zlepšení odvzdušnění.

Kromě uzavírací síly má na odvzdušnění vliv také vstřikovací rychlost. Před zahájením vstřikování jsou všechny dutiny ve formě zaplněny vzduchem. Tento vzduch (a při nedodržení optimálních parametrů i plyny vzniklé před čelem šneku) je v případě pasivního odvzdušnění tlačén čelem proudu taveniny v průběhu plnění. Aby nedošlo k nežádoucímu narušení procesu, musí být vzduchu a plynům umožněn únik stejnou rychlostí, jakou má vstřikovaná tavenina. Z procesního hlediska je výhodnější vyšší rychlost taveniny. Vlivem ochlazování o stěny formy dochází k jejímu tuhnutí a při nízké rychlosti by mohl zatuhnout celý průřez ještě před zaplněním celé dutiny a došlo by tak k nedostříknutí dílu. Toto riziko se zvyšuje se snižováním tloušťky stěny dílu.



## 2.3 Vliv konstrukce stroje na odvzdušnění [24; 25;26; 24; 25; 26; 30; 32 ]

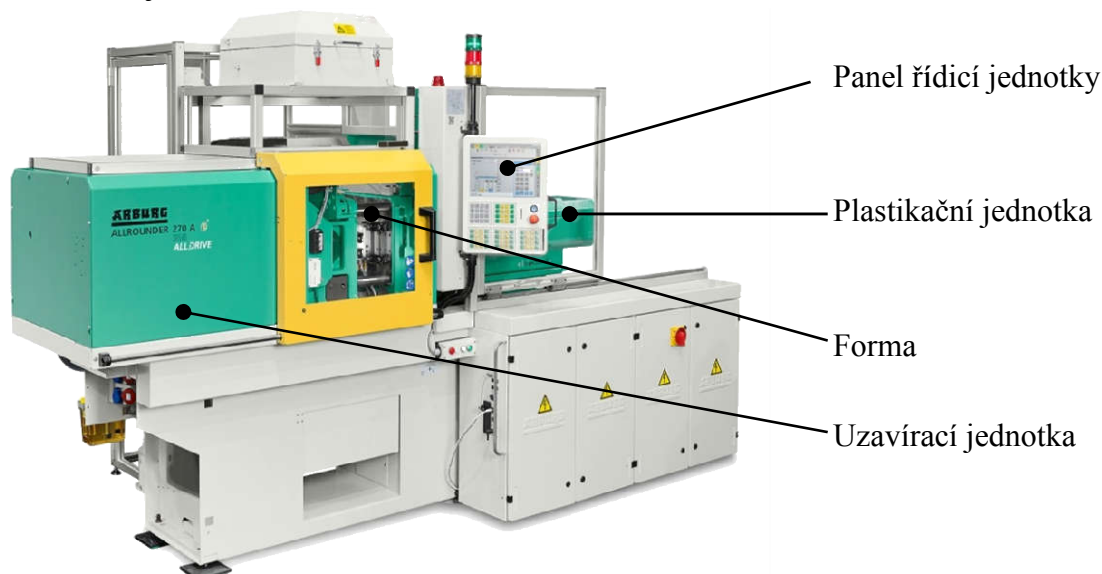
Celý proces vstřikování zajišťují speciální stroje, někdy zvané vstřikolisy, umožňující práci v automatickém a bezobslužném režimu (obr. 20). Vstřikovací stroj lze rozdělit na čtyři základní celky:

- Vstřikovací a plastikační jednotka – zajišťuje přeměnu plastového granulátu na homogenní taveninu o dané teplotě a viskozitě, kterou za vysokého tlaku dopravuje (vstřikuje) do dutiny formy. Je složena z násypky s dávkovacím zařízením, regulovatelným pohonem, vytápěným plastikačním válcem se šnekem nebo pístem a tryskou.
- Uzavírací jednotka – musí co nejrychleji uzavírat a otevírat formu, držet ji zavřenou takovou přidržovací silou, aby nedošlo k pootevření a zajistit spolehlivé vyhození ztuhlých výstřiků po jejím otevření. Skládá se z uzavíracího, přidržovacího a vyhazovacího mechanismu (kloubového nebo hydraulického), upínacích desek a vodících sloupků.
- Řídicí systém – obsahuje mikroprocesor ovládající funkce stroje na základě pokynů obsluhy nebo z programu uloženého v paměti. Umožňuje snadné nastavení, diagnostiku a optimalizaci.
- Forma – tedy nástroj, je výměnnou částí stroje, vyrábějící se speciálně pro každý díl.

Konstrukce plastikační jednotky musí být taková, aby se v ní netvořila slepá místa, kde by tavenina zbrzděovala a degradovala. Proto se také musí provádět pravidelná údržba a čištění.

V závislosti na typu vakuového systému může být vývěva zabudována rovnou ve vstřikovacím stroji (připojená do formy, či násypky) nebo může volně stát u stroje. Součástí systému vývěvy může být i tlaková nádoba tzv. vakuový akumulátor, který podporuje vyčerpání velkých objemů a může snižovat spotřebu energie vývěvy v době vyčerpávání. Další možností je použitý systém VACUUMJET, který je instalován jako odnímatelná součást formy a podtlak je generován přivedením tlakového vzduchu.

Použití a řízení vakuového systému musí umožňovat řídicí systém stroje, který musí mít 1 až 3 volné programovatelné vstupy (v závislosti na konkrétním typu), skrze které může stroj a systém komunikovat. Vakuová jednotka je vybavena snímačem dosaženého podtlaku, který posílá stroji signál k umožnění vstřikování ve chvíli, kdy je dosažena požadovaná hodnota. Z důvodu nutnosti programovatelných vstupů není možné tento systém používat na starších modelech strojů.

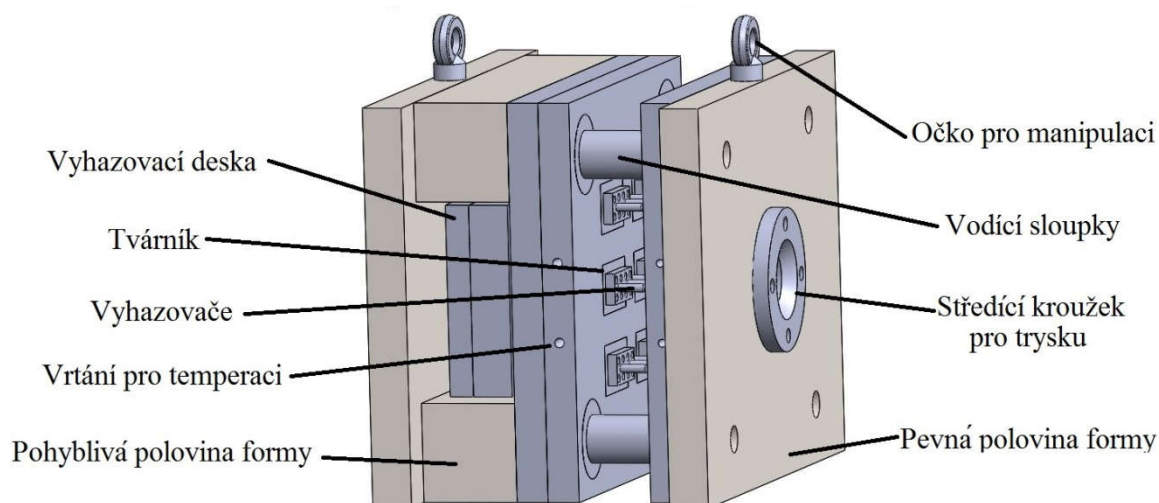


Obr. 20 Vstřikovací stroj [32]

## 2.4 Vliv konstrukce formy na odvzdušnění [20; 24; 25;26; 24; 25; 26; 27]

Forma (obr. 21) je klíčovou částí vstřikovacího stroje. Od její konstrukce a výrobní přesnosti se odvíjí kvalita vstřikovaného dílce i hospodárnost výroby. Je rozdělena vhodně zvolenou dělicí rovinou na pevnou a pohyblivou část, tak aby šel výstřik snadno vyjmout. Obě poloviny jsou upnuty v uzavírací jednotce stroje. K úspěšné realizaci procesu vstřikování musí forma obsahovat několik funkčních systémů:

- Vtokový systém – zajišťuje přívod taveniny do tvarové dutiny.
- Tvarová dutina - odpovídá tvaru tvářeného dílce nebo dílců (u vícenásobných forem).
- Vyhazovací systém – řízená soustava kolíků a desek k bezpečnému vyjmutí dílu z formy.
- Temperační systém – zahrnuje kanálky, kterými proudí chladicí médium.
- Odvzdušňovací systém – umožňuje odvod vzduchu a plynů z tvarové dutiny.
- Upínací a vodící elementy – zabezpečují přesné dosednutí obou polovin.
- Prvky pro převedení pohybu – slouží k přenesení pohybu k vyhazovačům.



Obr. 21 Vstřikovací forma

Dutinu formy netvoří pouze negativ tvaru dílce, ale i vtokový systém, který může při výrobě malých dílců svým objemem převýšit objem součásti samotné. Všechny tyto dutiny jsou před zahájením vstřikování zaplněny vzduchem. Ten před sebou tavenina tlačí, aby mohla zaujmout jeho místo. Možný průtok vzduchu z formy ven by měl být optimálně stejný případně větší než průtok taveniny do formy.

Odvzdušňovací elementy však musí současně mít takový profil, aby jimi mohl uniknout vzduch a aby se nezaplnily taveninou. Tuto podmínku splňují velmi štíhlé, ale libovolně dlouhé štěrby. Mezera, kterou už plast nezaplní, je závislá na viskozitě daného plastu. Maximální výšku štěrby lze určit za pomoci výpočtů nebo experimentálně. Pro nejpoužívanější plasty lze v literatuře dohledat tabulky s doporučenými rozměry viz tabulka 1 a příloha 1.

Tab. 1 Maximální odvzdušňovací mezera v závislosti na tekutosti polymerů. [26].

Materiál	ITT [g.min <sup>-1</sup> ]	Mezera [mm]
Nejhůře tekuté materiály	do cca 10	0,05 – 0,06
Středně tekuté materiály	cca 10 - 25	0,03-0,04
Extrémně tekuté materiály	nad cca 25	0,02

Pro účel návrhu pasivního odvzdušnění byly stanoveny vzorce pro výpočet průřezu odvzdušnění. Vzorce vycházejí z průtoku určitého objemu za jednotku času a zahrnují vliv počáteční teploty vzduchu v dutině a případně i vzduchu stlačeného taveninou.

$$S = \frac{V}{\sqrt{\frac{T_v + 273}{293}} \cdot 2 \cdot 10^5} \quad (2.2)$$

kde:  $S$   $[\text{mm}^2]$  plocha odvzdušňovací štěrby  
 $V$   $[\text{mm}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$  průtok vzduchu z dutiny formy  
 $T_v$   $[\text{°C}]$  teplota vzduchu ve formě

$$V = \frac{V_d + V_v}{t_v} \quad (2.3)$$

kde:  $V_d$   $[\text{mm}^3]$  objem tvarové dutiny  
 $V_v$   $[\text{mm}^3]$  objem vtokového systému  
 $t_v$   $[\text{s}]$  doba vstřikování

Anglická literatura uvádí pro výpočet průřezu odvzdušnění vzorec (2.2) vycházející z hodnoty průtoku (2.3) a zahrnující vliv teploty vzduchu v dutině, která je závislá na její teplotě. Ostatní vlivy jsou zahrnuty formou neměnného koeficientu.

$$S = 25 \sqrt{T_2 + 273} \frac{G_1}{p_1 t_v} \quad (2.4)$$

kde:  $T_2$   $[\text{°C}]$  teplota vzduchu stlačeného taveninou  
 $G_1$   $[\text{kg}]$  hmotnost vzduchu v dutině  
 $p_1$   $[\text{MPa}]$  tlak vzduchu v dutině (atmosférický tlak)

$$T_2 = (T_v + 273) \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \quad (2.5)$$

kde:  $p_2$   $[\text{MPa}]$  tlak vzduchu stlačeného taveninou  
 $n$   $[-]$  polytropický exponent

$$G_1 = (V_d + V_v) \cdot 10^{-9} \cdot \gamma \quad (2.6)$$

kde:  $\gamma$   $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$  měrná hmotnost vzduchu

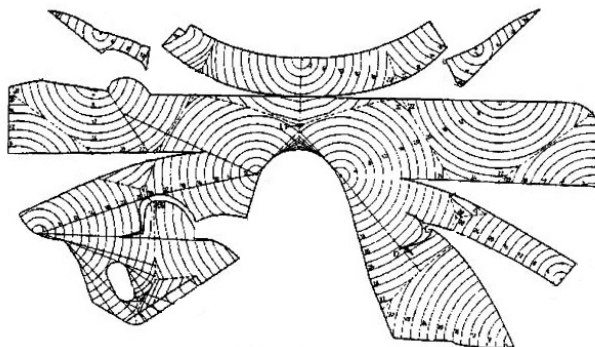
Česká literatura uvádí vzorec (2.4) vycházející z průtočného množství plynu (2.6) při zjednodušené adiabatické změně. Průtočné množství je závislé na teplotě stlačeného plynu (2.5). Za tlak stlačeného vzduchu je dosazována empirická hodnota tlaku, při kterém dojde k nedostříknutí dílu, tedy 20-30 MPa. Polytropický exponent se v tomto případě obvykle pohybuje kolem hodnoty 1,15. Koeficient na začátku vzorce byl upraven tak, aby bylo možno dosazovat tlak v MPa. Výsledný odvzdušňovací průřez vypočtený dle rovnice (2.4) je asi o 45% vyšší než průřez vypočtený z rovnice (2.2).

Nejen u pasivního odvzdušnění je důležité určit místa uzavírání vzduchu. To lze u jednoduchých dílů provést na základě logických úvah o toku taveniny v dutině. V případě rovnoměrného průřezu bude vzduch uzavřen v nejvzdálenějším místě od vtoku, tedy tam, kam tavenina doteče jako poslední. To platí i při rozdělení toku taveniny do více proudů, jako je tomu při zatékání taveniny do žeber. Budou-li tvar dílce tvořit různé průřezy, pak se tavenina bude rychleji pohybovat větším z nich. Při průchodu pravoúhlou změnou průřezu bude tavenina rychleji zaplňovat volný prostor a k jejímu dolehnutí ke stěně bude docházet se zpožděním. K uzavření vzduchu také dochází v místě spojení dvou proudů taveniny při obtékání otvorů v místě tzv. studeném spoji.

V případě složitého tvaru dílu, přítomnosti otvorů nebo použití více vtoků je velice složité predikovat místa uzavření vzduchu a jedinou možností je použití počítačové simulace.

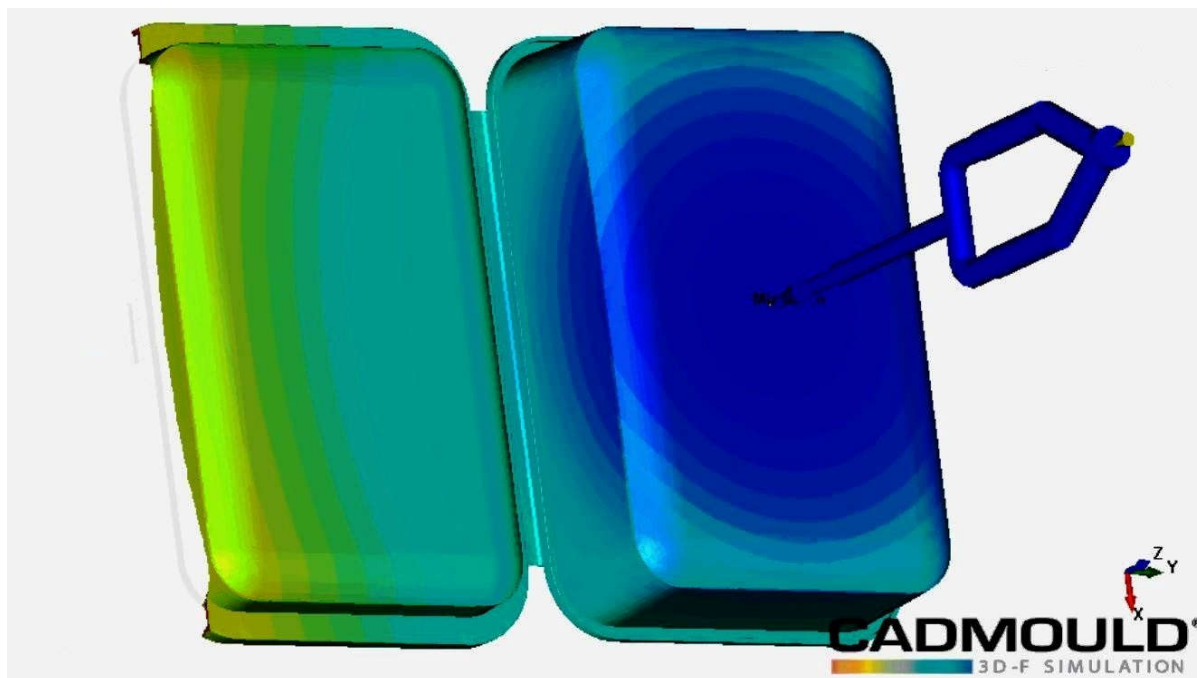
### 2.3.1 Počítačová simulace [8, 33]

Počítačové simulace se vyvinuly na základě zjednodušené ručně prováděné grafické metody určující tok taveniny dutinou formy. V rozvinutém modelu dílu byly kresleny soustředné kružnice z místa každého vtoku. Takto vzniklý tokový obrazec (anglicky flowpattern) byl rozstříhán a slepen do 3D modelu a poskytoval informace o možném uzavření vzduchu a umístění studeného spoje. Pro každou změnu umístění vtoků musel být kreslen nový obrazec a to bylo časově velmi náročné.



Obr. 22 Ukázka ruční metody zobrazení toku [8]

Na pozadí této grafické metody a obecných fyzikálních znalostí byly vyvinuty výpočtové modely využitelné pro reologické, tepelné a mechanické simulace. První programy generovaly výsledky ve formě tabulek ukazujících tlakové ztráty, viskozitu, smykové napětí a teplotu v definovaných bodech modelu. S vývojem počítačové techniky a zvyšováním výpočetní kapacity počítačů se zlepšovaly i simulační nástroje nově umožňující predikovat nejen plnění, ale i dotlakovou fázi, orientaci zrn a změnu rozměrů a tvaru.



Obr. 23 Ukázka moderní počítačové simulace v programu cadmould [33]

## 2.5 Vady při nevhodném odvzdušnění [8; 11; 12; 20; 24; 25; 26; 27; 28; 29]

Jak již bylo naznačeno, vstřikování je velice komplexní proces a každý technologický faktor může být příčinou vzniku vady a každá vada může mít několik příčin. Nejjednoznačnějším defektem zaviněným neadekvátním odvzdušněním je spálení v posledním bodě plnění (obr. 24) vlivem nárůstu teploty stlačovaného vzduchu. S rostoucí teplotou se zvyšuje tekutost materiálu a v daném místě se tak mohou tvořit i přetoky (obr. 25). Uzavřený vzduch vytváří odpor proti tečení taveniny, je-li tento protitlak vyšší než tlak taveniny, v daném místě tak dojde k zastavení jejího postupu a vzniku nedostříknutého dílu (obr. 26). Při určitých technologických parametrech může vzduch dokonce vniknout do taveniny a vytvářet v ní bubliny (obr. 27). Pokud vzduch zůstane na stěnách formy a je přelit a uzavřen taveninou, tak se může projevit jako stříbřité pruhy tedy tzv. šlírovitost (obr. 28). K uzavření vzduchu může dojít i v místě studeného spoje (obr. 29) mezi čely dvou proudů taveniny a stěnou formy. Tam způsobuje zhoršení mechanických vlastností a vizuální kvality.



Obr. 24 Spálené místo



Obr. 25 Přetoky na dílu



Obr. 26 Nedostříknutý díl



Obr. 27 Bubliny v dílu



Obr. 28 Šlírovitost



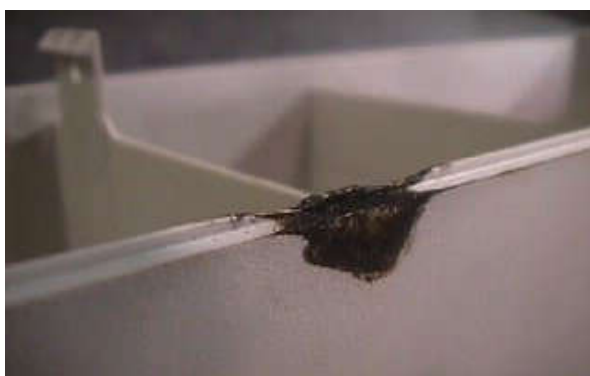
Obr. 29 Studený spoj



### 2.5.1 Spáleniny [8; 11; 12; 20; 24; 25; 27; 34]

Nejčastější a nejmarkantnější vadou vznikající nedostatečným odvětráním je vznik spáleného místa na výstřiku. K němu dochází vlivem tzv. Dieselova efektu, kdy je vzduch stlačován taveninou a působením vysokého tlaku se ohřívá a to až do té míry, kdy může dojít ke spálení taveniny plastu. K tomuto stavu může dojít při nedostatečném průřezu kanálků ať už zanedbáním výpočtu, nebo použitím vyšší vstřikovací rychlosti, než pro kterou byl výpočet proveden. Spáleniny se projeví zčernalými místy, viditelnými především na světlých materiálech, a nekompaktní strukturou (povrch působí „chlupatě“).

Ke spálení materiálu dochází většinou v místě uzavření vzduchu, jako je poslední bod plnění nebo konec žebra (obr. 30), ale může se stát, že k němu dojde vlivem nevhodně nastavených parametrů i v trysce. Jedním z těchto parametrů je velikost a rychlost první dekomprese. Ke spálení v trysce také dochází, když je zastaven proces bez snížení teploty topných válců. Potom je spálený materiál rozptýlen náhodně po objemu dílce (obr. 31).



Obr. 30 Spálenina v posledním bodě plnění [34]



Obr. 31 Materiál spálený v trysce

Za předpokladu, že nedojde ke sdílení tepla mezi vzduchem a plastem, lze tento děj popsat rovnicí adiabatické změny stavu plynu v dutině. To je ale idealizovaný stav, přesnější je použití polytropické změny. Vzorce pro jejich popis se liší pouze koeficientem v exponentu.

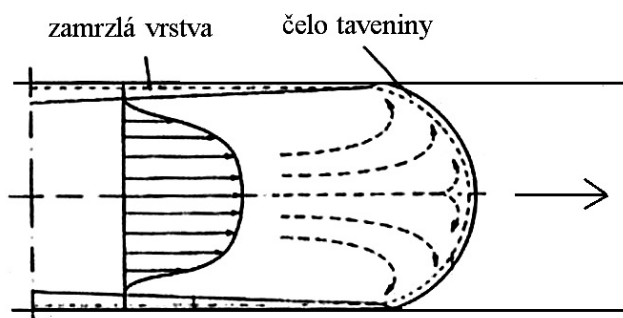
$$T_2 = T_v \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \quad (2.7)$$

Z rovnice adiabatické změny lze vyjádřit teplotu vzduchu po jeho stlačení (2.7) v závislosti na kompresním tlaku vzduchu. Stlačený vzduch může mít tlak maximálně rovný tlaku taveniny, který je snížen působením hydraulických odporů na hodnoty odpovídající třetině vstřikovacího tlaku. Teplota stlačeného vzduchu může v extrémním případě, kdy nebude žádná možnost jeho úniku (forma nebude vybavena žádným odvětrávacím elementem nebo budou všechny ucpané), dosahovat hodnot 800°C. Kromě polymeru působí tato teplota i na povrch formy v daném místě a může lokálně ovlivňovat mechanické vlastnosti povrchové vrstvy (zvýšením tvrdosti).

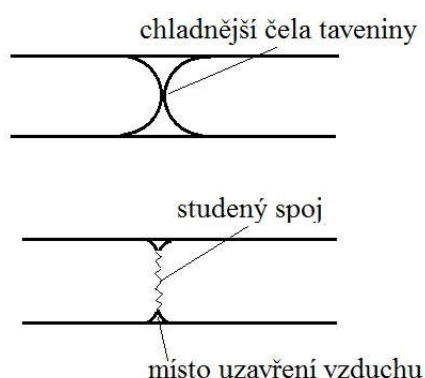
Při spálení polymeru dochází k jeho termické degradaci, tedy uvolňování jednotlivých monomerů a zkracování řetězců. Používané materiály mají spousty přísad, které se uvolňují v podobě nízkomolekulárních sloučenin. Ty mohou v závislosti na složení konkrétního granulátu způsobovat korozi (uvolňování HCl při degradaci PVC), působit dráždivě na obsluhu stroje (uvolnění halogenových retardérů hoření) nebo reagovat s kyslíkem za vzniku dalších sloučenin a sazí. Všechny tyto zplodiny ze spalování zanášejí formu mnohdy agresivním povlakem, který může ničit povrch formy nebo ucpávat odvětrávací elementy.

### 2.5.2 Studené spoje [8; 11; 12; 20; 24; 25; 27; 34; 35; 36; 37; 38]

Při vstřikování termoplastů dochází k plnění dutiny tzv. fontánovým tokem (obr. 32), který je způsoben teplotním rozdílem mezi taveninou a formou. Teplota formy je vždy nižší než teplota taveniny a na její stěně dochází k ochlazení a tím i zpomalování taveniny. Rychlost toku taveniny je tak nejvyšší na okrajích tokového kanálku a směrem do středu roste, čímž vzniká typický vypouklý profil toku.

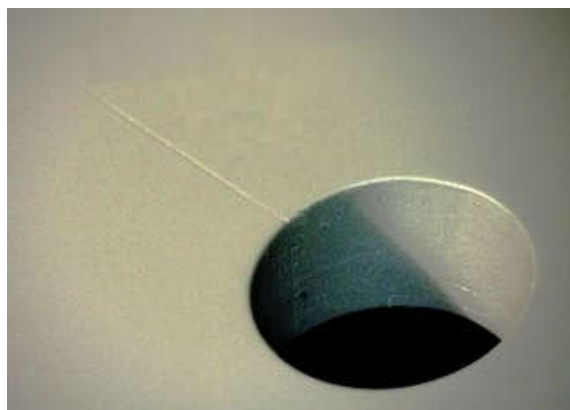


Obr. 32 Fontánový tok taveniny [35]

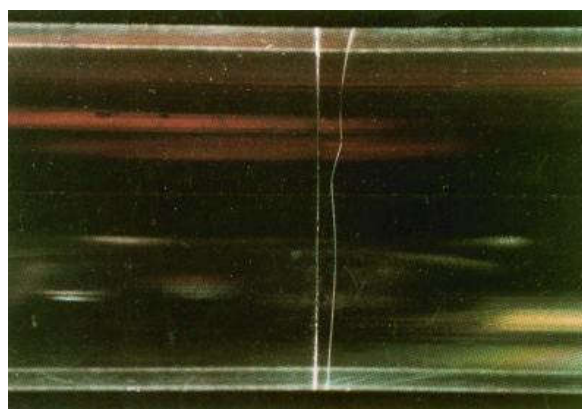


Obr. 33 Vznik studeného spoje [36]

Studené spoje vznikají při spojení dvou proudů taveniny. V závislosti procesních parametrů (teplota taveniny a teplota formy) jsou čela toků více či méně ochlazená, a proto nedochází k promísení, ale vytvoření nedokonalého svaru. Studený spoj má na díl negativní dopad z hlediska pevnostního (snížení pevnosti a houževnatosti) a z pohledu vzhledového. Ke spojení dojde nejdříve vypouklými čely taveniny ve středu průřezu a průřezy se pak slévají směrem ke stěnám, kde může dojít k uzavření vzduchu (obr. 33). To se na výsledném dílu projeví prohlubní, která je díky změně úhlu odrazu světla v daném místě viditelná (obr. 34) a to obzvláště na transparentních nebo pokovovaných dílech.



Obr. 34 Studený spoj [38]

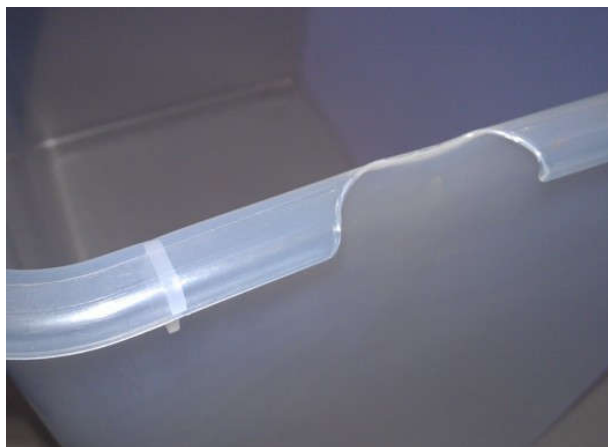


Obr. 35 Studený spoj na transparentním dílu [35]

### 2.5.3 Nedostříky a bubliny [8; 11; 12; 20; 24; 25; 27; 34; 37; 38; 39]

Dojde-li v dutině formy k uzavření vzduchu, ale jeho tlak není tak vysoký, aby došlo k dieselově efektu (tedy nepřekročí empiricky zjištěné hodnoty 20 - 30MPa), pak zabrání postupu materiálu a vznikne nedostříknutý díl (obr. 36), případně se vzduch zamíchá do taveniny v podobě bublin (obr. 37). Takto vzniklé bubliny bývají většinou u posledního bodu plnění, což může být vodítkem pro identifikaci příčiny jejich vzniku.

Vzduchové bubliny velice často vznikají v ostrém zúžení průřezu při vstřikování reaktoplastů. Jejich plnění má takřka opačný profil, než je tomu u termoplastů, forma je temperována na vyšší teploty a materiál se od ní ohřívá a snáze po ní teče. V ostrém rozšíření se tak může stát, že ta část čela, která je blízko povrchu formy, předběhne střed a uzavře v daném místě vzduch. Kromě snížení pevnosti v daném místě se vzduch může „vyšplhat“ po plnivech na povrch dílu v průběhu pokovování ve vakuu a způsobovat povrchové vady.



Obr. 36 Nedostříknutý díl [39]



Obr. 37 Bubliny v dílu

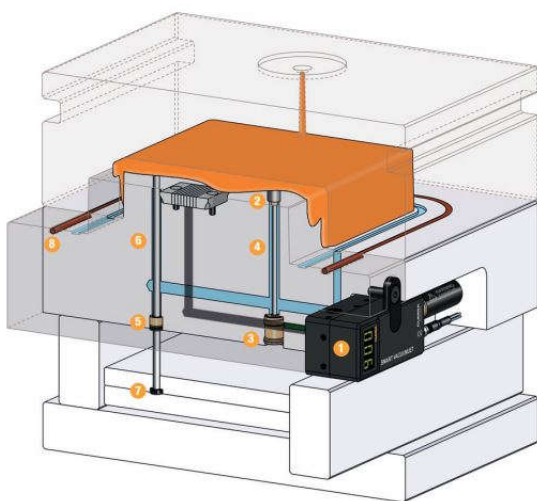
## 2.6 Konstrukce zařízení pro vakuové odvzdušnění [8; 18; 40; 41; 42; 43; 44; 45]

Pro odvzdušnění za pomoci vakua existují na trhu dvě možnosti. První z nich jsou stacionární jednotky, jako je Mold-Vac (obr. 38) nabízený americkou společností CAE Services. Podtlakové jednotky mohou být připojeny do formy, nebo odsávat vzduch z násypky nad plastikačním válcem (jednotka VACMELTOR). U stacionárních jednotek bývá podtlak generován vakuovou vývěvou a může dosahovat až na -0,88 bar.



Obr. 38 Systém Mold-Vac [40]

Další možností je zařízení španělského výrobce CUMSA. Tento systém se skládá z vakuové jednotky VACUUMJET doplněné dalším příslušenstvím, jako je pneumatickým



Obr. 39 Aplikace jednotky [43]

pístem ovládaný ventil nebo speciální spirálově sbroušené vyhazovače (obr. 39). Obrovskou výhodou tohoto zařízení jsou jeho malé rozměry, díky kterým je možno jej integrovat přímo do formy. V závislosti na potřebě řídit velikost podtlaku, prostoru pro použití ventilu a potřebě využití stlačeného vzduchu k odformování společnost nabízí několik variant systému a jejich kombinací. Ve všech případech je nutné utěsnit dělicí rovinu formy a vyhazovače tak, aby kolem nich nedocházelo k natékání vzduchu zpět do formy.

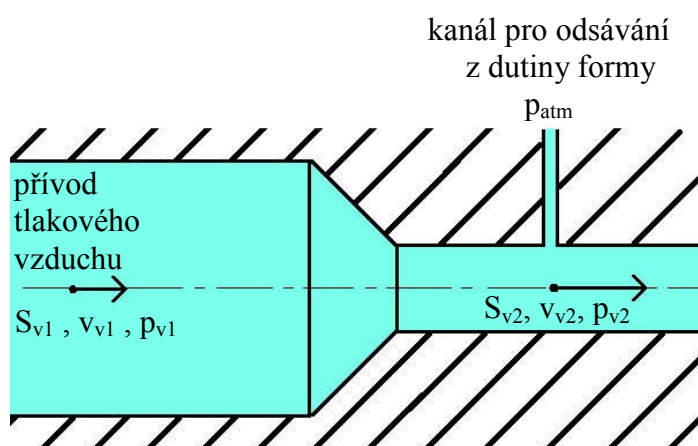


Jednotka VACUUMJET (obr. 40) vytváří podtlak z přivedeného tlakového vzduchu za pomoci tzv. hydraulického paradoxu, který říká, že rychlost proudění kapaliny je nepřímo úměrná jejímu tlaku. Tedy čím rychleji kapalina (nebo i plyn) proudí, tím nižší má tlak. Nejčastější demonstrací tohoto jevu je fouknutí mezi dva od sebe vzdálené papíry listy papíru. Urychlením vzduchu se mezi nimi sníží tlak a papíry jsou k sobě přitisknuty tlakem okolí.



Obr. 40 Jednotka VACUUMJET [43]

K urychlení proudění kapalin dojde, bude-li zúžen profil, kterým proudí (rovnice kontinuity – ve všech bodech musí být stejný průtok). Toho využívá tzv. venturiho trubice, která je lokálně zúžena k dosažení vyšší rychlosti a nižšího tlaku v daném bodě. Pokud jsou v místě zúžení a před ním změřeny hodnoty tlaku, pak je možné z nich dopočítat průtok a tím i rychlost, čehož se využívá při měření rychlosti letu letadel. V případě, že je do zúženého místa připojena trubička, jejíž druhý konec je umístěn v prostředí o vyšším tlaku, pak bude vzduch skrze trubičku nasáván (obr. 41).



$$\begin{aligned} S_{v1} &> S_{v2} \\ v_{v1} &< v_{v2} \\ p_{v1} &> p_{v2} \end{aligned}$$

$$p_{\text{atm}} = 1 \text{ bar}$$

$$p_{v1} = p_{\text{pře}} + p_{\text{atm}} = 6 + 1 = 7 \text{ bar}$$

$$p_{v2} = p_{\text{pod}} + p_{\text{atm}} = -0,9 + 1 = 0,1 \text{ bar}$$

$p_{\text{atm}} > p_{v2} \rightarrow$  z prostředí o vyšším tlaku bude vzduch vysáván, až do momentu kdy budou oba tlaky stejné – tím vznikne v dutině podtlak.

Obr. 41 Princip nasávání vzduchu skrze Venturiho trubici [44]

Právě tohoto využívá zařízení VACUUMJET, do kterého je přiváděn tlakový vzduch o hodnotě přetlaku 6 bar a je generován podtlak až o hodnotě – 0,9 bar. Zde je důležité si uvědomit, že se jedná o hodnoty přetlaku a podtlaku vůči tlaku atmosférickému, který má absolutní hodnotu zhruba 1 bar. Výsledný podtlak vzniklý v dutině má tedy absolutní hodnotu až 0,1 bar (tedy  $10^2$  mbar), čímž se dle tabulky 2 řadí do pásma nízkého nebo technického vakua.

Tab. 2 Rozdělení pásem vakua [45].

Pásma vakua	Tlak	Tlak
	[mbar]	[Pa]
nízké, technické vakuum	$10^3 - 10^0$	$10^5 - 10^2$
střední vakuum	$10^0 - 10^{-3}$	$10^2 - 10^{-1}$
vysoké vakuum	$10^{-3} - 10^{-7}$	$10^{-1} - 10^{-5}$
velmi vysoké vakuum	$10^{-7} - 10^{-10}$	$10^{-5} - 10^{-8}$

### 3 NÁVRH ŘEŠENÍ [46; 47]

Vakuový systém byl aplikován na dvou formách vykazujících zvýšenou zmetkovitost z důvodu neadekvátního odvzdušnění. Na každé z forem se jednalo o jiný typ defektu a požadavky na zlepšení, které by měla optimalizace odvzdušnění přinést, tak byly rozdílné. Aplikace vakuového systému zahrnovala nutnost úpravy konstrukce formy a to především její utěsnění, vytvoření kanálů pro přívod a nasávání vzduchu a samotnou montáž systému a k němu doporučeného vybavení.



Obr. 42 Model dílu svačinová krabička

ARBURG, na vnější straně spodní poloviny je štítek s adresou a symboly informací o materiálu a použití.

Primárním účelem použití formy je demonstrace práce vstřikovacího stroje na veletrzích nebo na školení obsluhy, avšak boxy v ní vyrobené mohou být dále využity jako reklamní předměty (obr. 43). Protože neslouží k zakázkové výrobě, nebylo nutné optimalizovat (hlavně snižovat čas) její výrobní cyklus k dosažení vyšší produktivity. Snaha o snížení doby vstřikovacího cyklu s sebou vždy nese riziko zvýšeného výskytu defektů. K tomu došlo i v tomto případě, kde se po změně procesních parametrů začaly na dílu objevovat bubliny.

Díl byl navržen pro stroj ALLROUNDER 470 C GOLDEN EDITION, který slouží k demonstraci práce na veletrzích, s případným využitím na školeních pro seřizovače. Průmětná plocha dílu a z ní vyvozená nutná uzavírací síla se blíží k maximální síle stroje. Výpočet zavírací síly nezahrnuje zúžení stěny, ve kterém dochází ke zvýšení tlaku a tím i síly potřebné na udržení formy zavřené. Existuje tedy riziko, že by síla stroje nemusela na udržení formy dostačovat. Toto riziko by mělo snížit použití vakuového systému, který eliminuje nárůst tlaku v dutině způsobený stlačováním vzduchu.

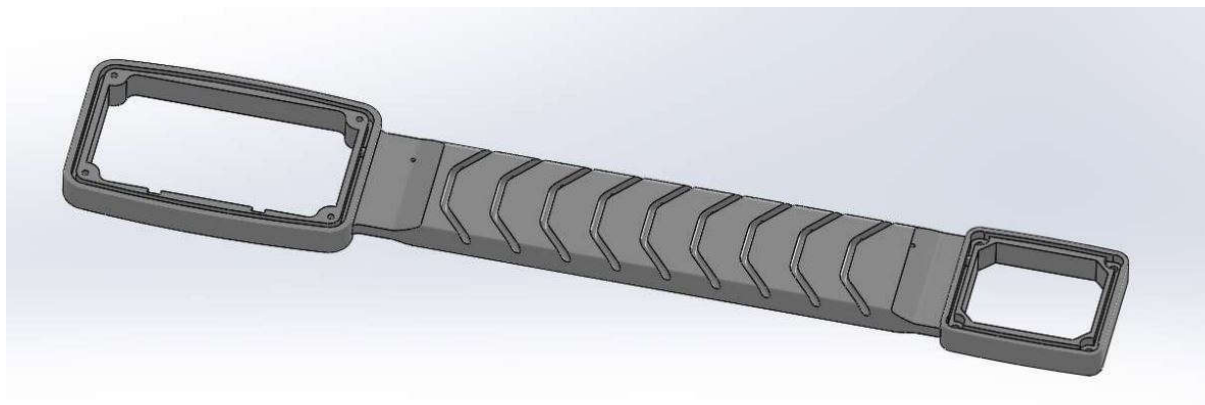
Požadovaným zlepšením, které by mělo vakuové odvzdušnění přinést, je zlepšení vizuální kvality dílu (eliminace bublin) a snížení uzavírací síly. Dále budou pozorovány tlakové parametry a čas plnění.

První řešená forma slouží k výrobě svačinových krabiček. Box je skořepinového charakteru o tloušťce stěny 1 mm, se dvěma polovinami spojenými tenkým mostem o síle 0,2 mm, který umožňuje jejich zavírání (obr. 42). Kraje jsou vyztuženy lemem a žebrem na protikus. Na mělčí horní polovině krabičky je mechanický zámek zajišťující krabici proti pootevření. Vnější povrch horní poloviny je matný s lesklým nápisem



Obr. 43 Příklad aplikace dílu

Druhá řešená forma slouží k výrobě lokalizačních obojků pro psy. Díl je poměrně členitý, střední část má z horní strany drážky k usnadnění ohybu dílu a ze spodu odlehčení tak, že průměrná tloušťka stěny je 2 mm. Spodní část dílu je veden koaxiální kabel od jednoho otvoru k druhému, takže zde jsou otvory po základacích pacičkách. Na střední pás na každé straně navazuje čtvercová smyčka s otvory v rozích a odlehčením středové části profilu k zajištění rovnoměrné tloušťky stěny. Výsledný průřez smyček tak má tvar písmena H.



Obr. 44 Model dílu GPS obojek

Díl je plněn z dvou vtokových ústí umístěných na hraně střední části. Studené spoje tak vznikají ve třech místech. K prvnímu spojení taveniny dojde ve střední části v polovině vzdálenosti mezi vtokovými ústími. Materiál zde má ještě dost vysokou teplotu, a tak spoj není na dílu viditelný. Zbylé dva spoje jsou ve středu smyček, což je kromě místa spojení dvou proudů také poslední bod plnění, takže čelo taveniny je zde už poměrně chladné. To v kombinaci s uzavřeným vzduchem zapříčiňuje tak nízkou kvalitu spoje, že je mnohdy možné je roztrhnout v rukách.

Součást je určena pro výrobu lokalizačních obojků (obr. 45) v sérii 1 000 ks/měsíc. Díl se musí ohýbat zároveň s tělem obojku a kopírovat obvod krku psa. Z tohoto důvodu je jako materiál použit termoplastický elastomer. Jedná se o kombinaci částic z vulkanizovaného elastomeru, který zajišťuje pružnost, a termoplastu, který zajišťuje tekutost při opakovaném zpracování. Tekutost takovýchto materiálů je horší než u termoplastů, ale pořád dostačuje na opakovatelné zpracování extruzí nebo vstřikováním, které u čistých elastomerů není možné.



Obr. 45 Aplikace řešeného dílu

Aplikace vakuového odvzdušnění by měla přinést zlepšení pevnosti a vizuální kvality studených spojů v čtvercových smyčkách.

### 3.1 Metodika experimentu

Účelem pokusu bylo porovnání a posouzení vybraných hodnocených parametrů jako výsledku standardního a vakuového odvzdušnění vstřikovací formy. Technický experiment byl realizován na výše zmíněných formách vybavených vakuovým systémem VACUUMJET a to ve výrobních prostorách společnosti vlastníci formu, nebo firmy spolupracující s vlastníkem formy. Tím bylo zajištěno vhodné prostředí a klimatické podmínky (adekvátní teplota a relativní vlhkost vzduchu). Pro predikci místa uzavření vzduchu, které je z hlediska odvzdušnění důležité, byly přiloženy simulace plnění dutiny s popisem.

Vzorkovací vstřikování probíhalo na vhodných vstřikovacích strojích, které jsou pro výrobu daného dílu používány standardně a byly zvoleny na základě potřebných parametrů (upínací rozměry formy, velikost dávky, maximální uzavírací síla a vstřikovací tlak) technickým personálem výrobce dílu. Stroje byly popsány z hlediska konstrukce a základních parametrů, technický list byl vložen do příloh.

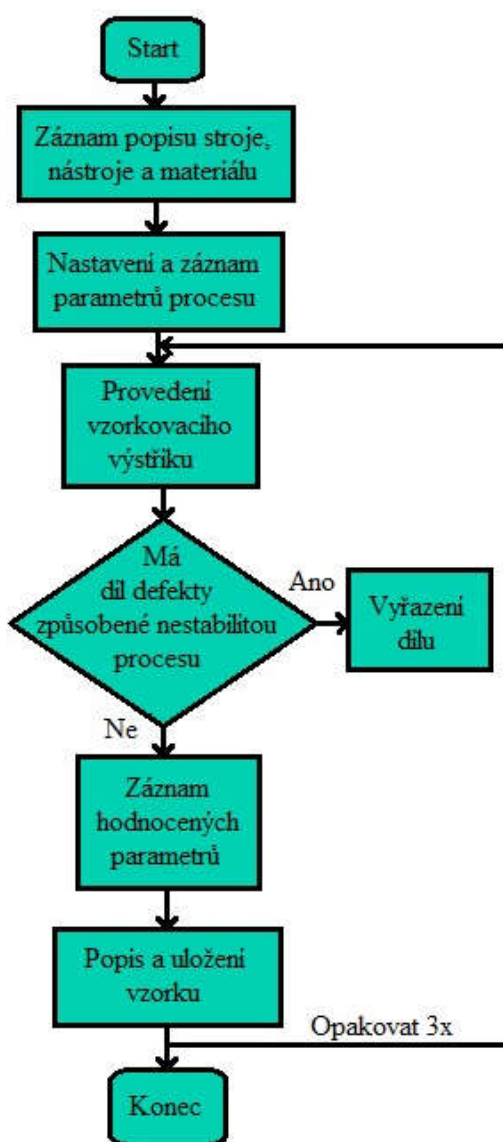
Před zahájením pokusu byla zkontrolována čistota a funkčnost formy. Byla popsána její konstrukce, použitý typ vakuového systému a jeho náležitosti. Dále byly pro dané materiály určeny maximální rozměry odvzdušňovacích elementů.

Na testovacím vstřikování byly aplikovány pro daný díl standardně používané materiály ve stavu zaručujícím opakovatelnost experimentu (vysušené a čisté). Byly zaznamenány obchodní názvy konkrétních polymerů a jejich materiálové listy byly umístěny do příloh. V práci byly uvedeny jejich základní vlastnosti a doporučené parametry pro zpracování.

Při každém testu byly provedeny tři výstřiky tak, aby bylo možné potlačit náhodné selhání procesu. Při zahájení nebo opětovném zahájení po pozastavení procesu byly vzorkovací díly odebrány až po 2-3 prvních výstřicích tak, aby test nebyl ovlivněn případnou tepelnou degradací materiálu v trysce (obr. 46). Každý experiment se sestával z dvou fází. Při první byly vystříknuty díly při standardně používaných parametrech procesu a vyčerpání dutiny. Druhé vzorkování proběhlo za stejných parametrů bez vyčerpání dutiny. Dané procesní parametry, nastavení stroje a vakuového systému byly zaznamenány. Každý vzorek byl po vyjmutí popsán a byly u něj zaznamenány vybrané hodnocené parametry:

- Maximální vstřikovací tlak
- Tlak při přepnutí
- Doba plnění

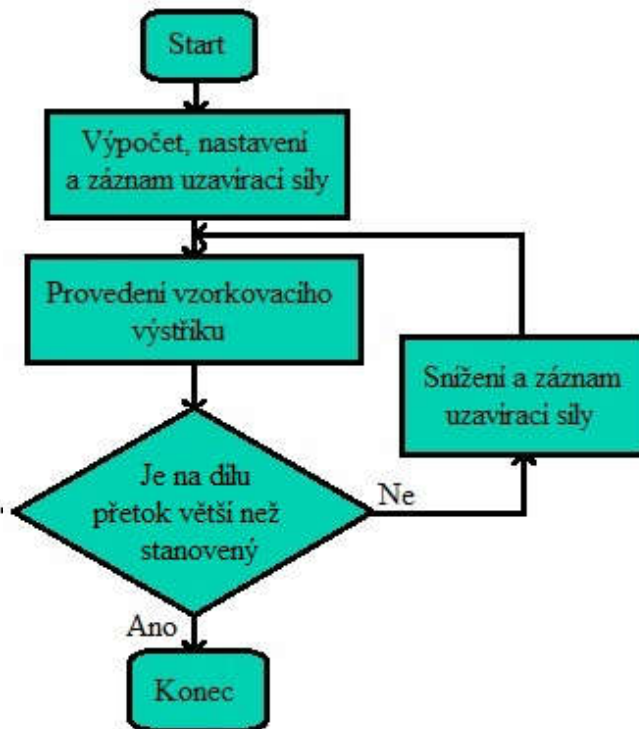
Dále byly zhodnoceny a zaznamenány vizuální vady vzorků.



Obr. 46 Vývojový diagram experimentu



Na první hodnocené formě (forma na krabičku) byl pozorován i vliv vakuového odvzdušnění na přidržovací sílu. V rámci popisu formy byla síla vypočtena a po vhodném zaokrouhlení nastavena na stroji. S ohledem na konstrukci formy byla stanovena maximální velikost přetoku, která zaručí, že nedošlo k zastříknutí odsávacích kanálů. Pro každou nastavenou sílu byly provedeny tři výstřiky bez vakua a tři s vakuem. Na každé sadě vzorků byl zhodnocen výskyt a velikost přetoků, díly byly popsány a síla zaznamenána. Byla-li velikost přetoku menší, než byla stanovená hranice, pak byla uzavírací síla snížena o vhodný rozdíl a testování opakováno (obr. 47). K zastavení testu došlo, když velikost výstřiku překonala stanovenou mez přetoku.



Obr. 47 Vývojový diagram - vliv na uzavírací sílu

### 3.2 Realizace experimentu krabička [33]

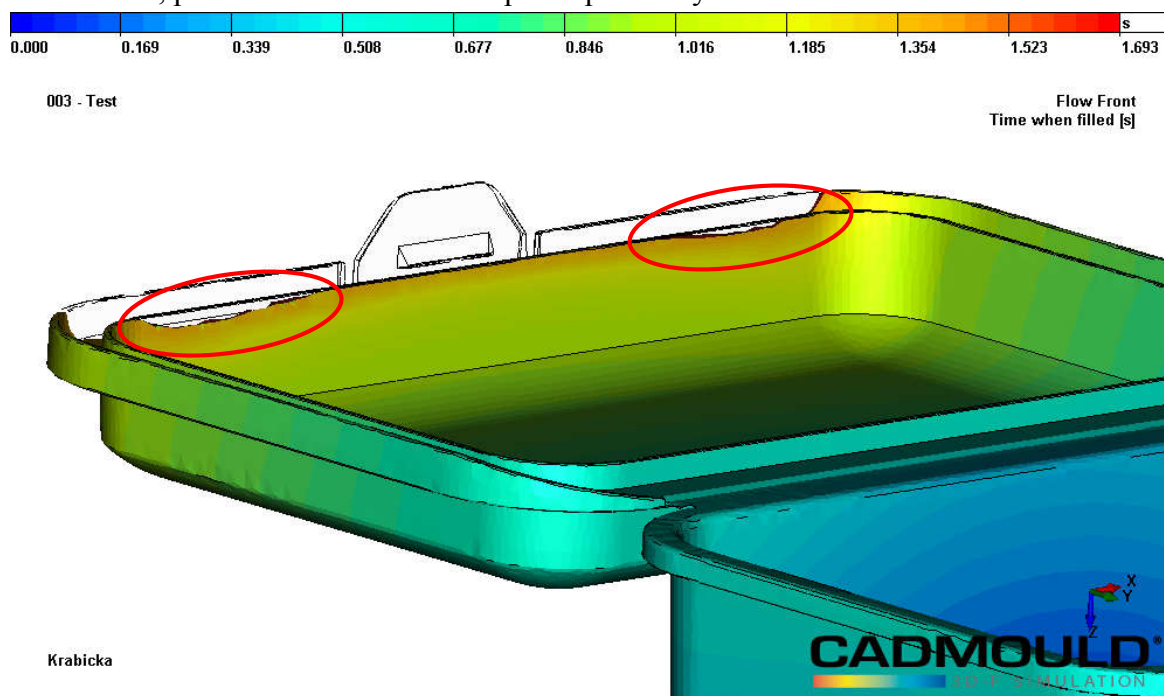
Experiment byl realizován v prostorách brněnské pobočky firmy ARBURG na stroji ALLROUNDER 470 C GOLDEN EDITION. Na základě znalosti materiálu, geometrie vzorku a umístění vtokového ústí byla provedena simulace plnění dutiny. Pro simulaci byly nastaveny stejné parametry, jaké byly následně použity při experimentu (obr. 48) a její výstupy odpovídaly kvalitně odvzdušněné formě, tedy zcela bez odporu vzduchu.

Simulace a zhodnocení jejího výstupu byly realizovány panem Ing. Jiřím Gabrielem v programu Cadmould 3D-F. Jedná se o jeden z prvních programů umožňujících analýzu procesu vstřikování. Výpočty softwaru, prováděné pro stav taveniny v časově určených okamžicích, zahrnují vliv teploty, stlačitelnosti taveniny i změny viskozity roztaveného plastu. Výsledky lze zobrazit v daných časech nebo formou animace.

Process Parameters	
Filling Time [s]	1.400
Pressure-Controlled Filling [%]	99.0
Melt Temperature [°C]	210.0
Uniform Hot-Runner Temperature [°C]	210.0
Uniform Wall Temperature [°C]	30.0
Ejection Temperature [°C]	65.0
<input checked="" type="checkbox"/> Packing	Packing Time [s] 8.000
<input checked="" type="checkbox"/> S + W	Cooling Time [s] 16.000
<input type="button" value="Default"/> <input type="button" value="Load"/> <input type="button" value="Options"/> <input type="button" value="Vary"/>	
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>	

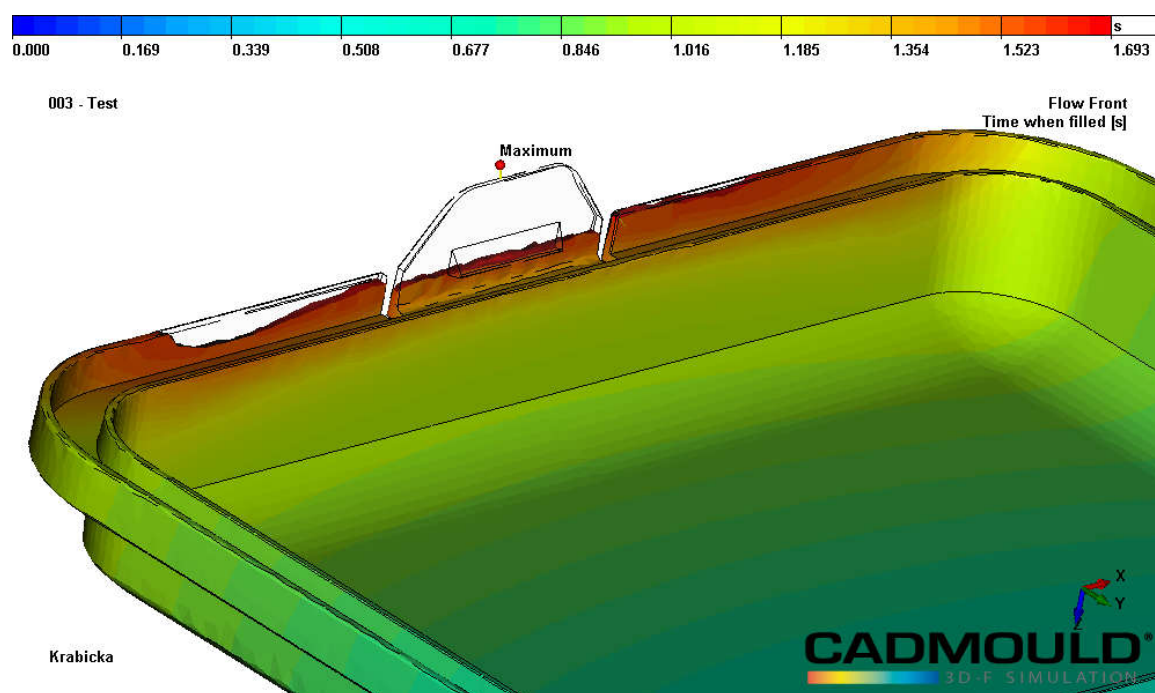
Obr. 48 Parametry simulace plnění dutiny [33].

Na průběhu plnění lze pozorovat zatékání taveniny do vnitřního žebra horní poloviny krabíčky. Tavenina proudí plochou horního dílu krabíčky a v kořeni žebra se rozděluje na část proudící k vnějšímu lemu a část zaplňující vnitřní stěnu. Tento postup taveniny zaslepuje možnou únikovou cestu pro vzduch, který je taveninou tlačěn k hornímu okraji. Z důvodu uzavření vzduchu je toto místo (obr. 49) vyhodnoceno jako rizikové. Pokud nebude dobře odvzdušněno, pak zde vzniknou značné plnicí problémy.



Obr. 49 Uzavření vzduchu ve vnitřním žebře horní poloviny krabíčky[33]

Jako poslední místo plnění byl vyhodnocen zámek krabíčky (obr. 50). To zcela odpovídá reálným výsledkům, právě v tomto místě docházelo k výskytu bublin.



Obr. 50 Poslední bod plnění v zámku krabíčky[33]

### 3.2.1 Popis stroje, nástroje a materiálu [48; 49; 50]

ALLROUNDER 470 C GOLDEN EDITION je označení plně hydraulického stroje, umožňujícího uspořádání v sedmi pracovních polohách s prostorem mezi vodícími tyčemi 470x470 mm s omezením některých funkcí za účelem snížení ceny.



Obr. 51 Použitý vstřikovací stroj

Konkrétní stroj, vlastněný brněnskou pobočkou firmy Arburg (obr. 51), je ve standardní pracovní poloze, tedy s horizontální polohou vstřikovací a uzavírací jednotky se středěným vstřikováním do pevné desky. Ze tří nabízených možností zde byla použita střední velikost plastikační jednotky s průměrem šneku 40 mm. Základní parametry stroje byly shrnuty v tabulce 3 a kompletní technická data byla uvedena v datovém listu, viz příloha 2.

Tab. 3 Technická data stroje [48].

	Parametr stroje	Hodnota
Zavírací jednotka	Uzavírací síla	max. 1500 kN
	Instalační výška formy	min. 250 mm
	Vzdálenost mezi deskami	max. 750 mm
	Vzdálenost mezi vodícími sloupky	470x470 mm
Vstřikovací jednotka	Průměr šneku	40 mm
	Pracovní délka šneku L/D	20
	Vstřikovací tlak	max. 2 000 bar

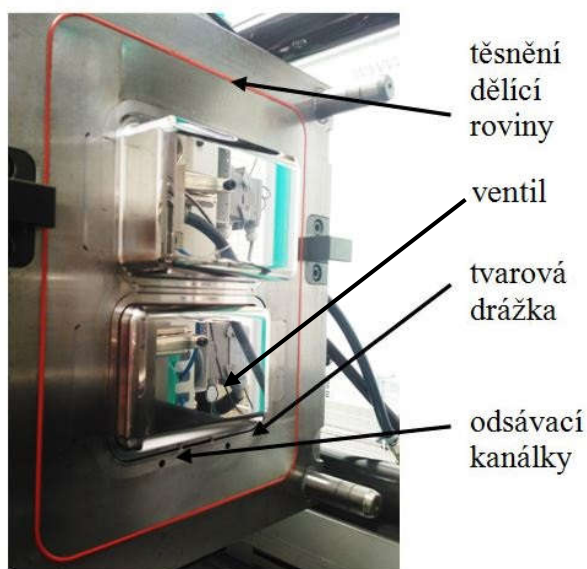


Do zavírací jednotky stroje byla pomocí mechanických upínačů upnuta forma o rozměrech 396x396 mm a výšce 382 mm (obr. 52). Dělicí rovina na dílu byla umístěna tak, aby bylo umožněno snadné vyhazování, tedy na horní ploše lemu spodní poloviny krabičky. Po stranách spodní poloviny krabičky byly umístěny vyhazovače tak, aby výstřik bezpečně setřel z tvárníku. Pevná polovina formy byla doplněna vyhazováním za pomoci tlakového vzduchu v oblasti popisové destičky s adresou firmy. Doprava taveniny tvarové dutiny byla zajištěna horkým vtokovým systémem, takže tryska plastikačního válce byla neustále v kontaktu s formou a nemohlo dojít k nasátí vzduchu při jejím odjezdu.



Obr. 52 Pohled do otevřené formy

Pohyblivá polovina pak byla vybavena vakuovou jednotkou AUTOMATIC VACUUMJET 40, ventilem ovládaným pneumatickým pístem, vrtáním pro pohyby vzduchu a těsněním dělicí roviny s vyhazovači (obr. 53). V obou polovinách je po celém obvodu tvaru vyfrézovaná tvarová drážka s krčkem na vnitřním obvodu zajišťujícím, že nedojde k přetoku taveniny (podobně jako u kanálků pasivního odvodu vzduchu), ale umožňujícím vzduchu opustit dutinu. V pohyblivé polovině formy jsou do této drážky vyvrtány otvory spojené s kanálem pro odsávání. Další vrtání spojuje jednotku a pneumatický píst ovládající ventil, tedy proudí stlačený vzduch, který píst v závislosti na nastaveném parametru otvírá nebo zavírá (obr. 54). Je důležité hodnoty nastavit tak, aby se píst před zahájením vstřikováním zavřel.



Obr. 53 Pohyblivá polovina formy



Obr. 54 Připojení vakuové jednotky



Jednotka AUTOMATIC VACUUMJET 40 (obr. 55) umožňuje vyčerpávat vzduch z dutiny průtokem  $40 \text{ l.min}^{-1}$  a to až na hodnotu podtlaku  $-900 \text{ mbar}$ . Díky měřicí jednotce je zařízení schopno tuto hodnotu měřit a regulovat. Dle aktuální naměřené hodnoty tlaku a rozsahu nastaveného uživatelem je za pomoci elektroventilu ovládán zdvih pneumatického pístu a tím i ventil v dutině tak, aby nedošlo k jeho zastříknutí taveninou. Kromě vyčerpání vzduchu jednotka umožňuje i vpuštění tlakového vzduchu do odčerpávacího systému kanálků za účelem jejich vyčištění nebo podpoře odformování. Spojení těchto funkcí v jedné kompaktní jednotce umožňuje využití pouze jednoho programovatelného vstupu na stroji.



Obr. 55 AUTOMATIC VACUUMJET 40

Pro experiment byl použit transparentní polypropylen s obchodním názvem Moplen RP 248. Polypropylen je semikrystalický polymer se stupněm krystalinity (míry uspořádání struktury) kolem 50%. I přes svou částečně krystalickou strukturu je vysoce transparentní a jeho smrštění bývá  $1,1 - 1,9\%$ . Neobsahuje-li navlhavá plniva a je-li skladován za příznivých klimatických podmínek, není nutno jej sušit. Všeobecně umožňuje bezproblémové zpracování s dobrou teplotní stabilitou (umožňuje delší výdrž na zpracovatelských teplotách). Materiálové parametry a doporučené zpracovatelské hodnoty jsou shrnuty v tabulce 4. Bližší informace o materiálu byly přiloženy, viz příloha 3.

Tab. 4 Doporučené zpracovatelské hodnoty a parametry použitého materiálu [50].

Parametr	Značka	Hodnota
Index toku taveniny	ITT	$30 \text{ g.10 min}^{-1}$
Hustota při $23^\circ\text{C}$	$\rho$	$0,90 \text{ g.cm}^{-3}$
Teplota taveniny	$T_t$	$220 - 290^\circ\text{C}$
Teplota formy	$T_f$	$20 - 60^\circ\text{C}$
Teplota odformování	$T_o$	$45 - 80^\circ\text{C}$
Vstřikovací tlak	$p_v$	$800 - 1\,400 \text{ bar}$
Dotlak	$p_d$	$500 - 1\,000 \text{ bar}$
Tvářecí tlak	$p_t$	$300 - 650 \text{ bar}$

### 3.2.2 Výpočet velikosti odvzdušňovacích drážek a uzavírací síly [24; 26]

Rozměry odvzdušňovací drážky jsou dány maximální tloušťkou dle materiálu a průřezem, který byl vypočten podle vzorce z anglické (2.1) i české literatury (2.3). Pro výpočet dle obou vzorců je nutné znát čas plnění dutiny a objem vzduchu v ní. Hodnota doby vstřiku byla odečtena na stroji při standardní výrobě. Protože je forma vybavená horkým vtokem s uzavíratelnou tryskou, objem vzduchu je roven pouze objemu dílce (není nutno přičítat objem studeného vtoku), který byl odečten z 3D modelu v programu SOLIDWORKS. Za teplotu vzduchu ve formě byla brána teplota okolí. Forma byla sice temperována na vyšší teplotu, ale vzduch je v ní tak krátce, že je jeho ohřev formou zanedbatelný.

Výpočet plochy odvězdušňovací štěrbiny dle anglického vzorce:

$$S_A = \frac{V_k}{\sqrt{\frac{T_v+273}{293}} \cdot 2 \cdot 10^5} = \frac{52\,225}{\sqrt{\frac{20+273}{293}} \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,261 \text{ mm}^2$$

kde:  $T_v = 20^\circ\text{C}$  teplota vzduchu ve formě

$$V_k = \frac{V_{dk}}{t_{vk}} = \frac{83\,560}{1,6} = 52\,225 \text{ mm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

kde:  $V_{dk} = 83\,560 \text{ mm}^3$  objem tvarové dutiny - díl krabička  
 $t_{vk} = 1,6 \text{ s}$  doba vstřikování - díl krabička

Výpočet plochy odvězdušňovací štěrbiny dle českého vzorce:

$$S_{CZk} = 25 \sqrt{T_2} \frac{G_{1k}}{p_1 t_{vk}} = 2,5 \sqrt{616,5} \frac{96,9 \cdot 10^{-6}}{0,1 \cdot 1,6} = 0,376 \text{ mm}^2$$

kde:  $p_1 = 0,1 \text{ MPa}$  tlak vzduchu v dutině

$$T_2 = (T_v + 273) \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} = (20 + 273) \left( \frac{30}{0,1} \right)^{\frac{1,15-1}{1,15}} = 616,5 \text{ K}$$

kde:  $p_2 = 30 \text{ MPa}$  tlak vzduchu stlačeného taveninou  
 $n = 1,15$  polytropický exponent

$$G_{1k} = V_{dk} \cdot 10^{-9} \cdot \gamma = 83\,560 \cdot 10^{-9} \cdot 1,16 = 96,9 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$$

kde:  $\gamma = 1,16 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  měrná hmotnost vzduchu

Výpočet šířky odvězdušňovací drážky z průřezu dle anglické literatury:

$$\check{s}_{Ak} = \frac{S_{Ak}}{t_k} = \frac{0,261}{0,03} = 8,70 \text{ mm}$$

kde:  $v_k = 0,03$  maximální výška drážky - díl krabička

Výpočet šířky odvězdušňovací drážky z průřezu dle české literatury:

$$\check{s}_{CZk} = \frac{S_{CZk}}{v_k} = \frac{0,376}{0,03} = 12,60 \text{ mm}$$

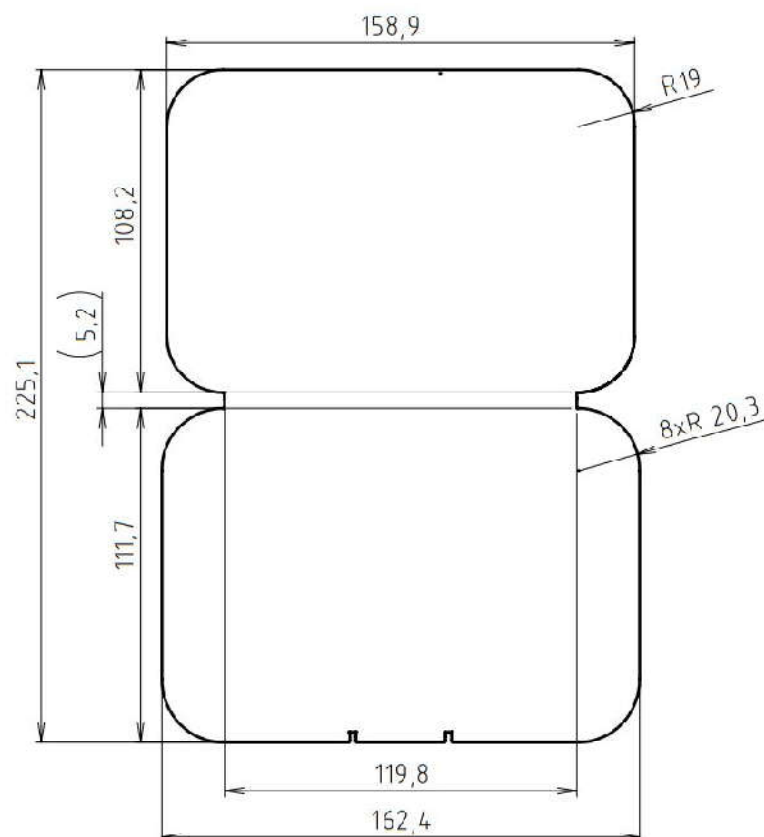
Použitý polypropylen patří mezi středně tekuté materiály a vhodná výška mezery tak je 0,03 - 0,04 mm. Z tohoto rozptylu byla pro výpočet zvolena hodnota 0,03 mm. Šířku drážky dostaneme, podělíme-li průřez tloušťkou (3.1) a (3.2).

Uzavírací síla je síla vyvolaná uzavírací jednotkou potřebná k tomu, aby se forma působením tlaku uvnitř dutiny v průběhu vstřikování neotevřela a nedošlo tak k tvorbě přetoků nebo úplnému úniku materiálu. Lze ji určit z počítačové simulace nebo spočítat jako součin plochy průmětu zaformovaného dílu (případně i vtokového systému) do dělicí roviny (obr. 54) a maximálního tlaku v dutině formy. Tlak v dutině formy je vyvolán vstřikovacím tlakem, ale jeho hodnota je snížena hydraulickými odpory působícími při plnění dutiny. Pro jeho určení existují tabulky a grafy, z praktických zkušeností však vyplývá, že se pohybuje kolem hodnoty  $\frac{1}{3}$  vstřikovacího tlaku, který byl v tomto případě 1 200 bar (tedy 120 MPa).

$$S_p = v_{hp} \cdot \check{s}_{hp} + v_m \cdot \check{s}_m + v_{dp} \cdot \check{s}_{dp} - 4 \cdot r_{hp}^2 + \pi \cdot r_{hp}^2 - 4 \cdot r_{dp}^2 + \pi \cdot r_{dp}^2 = \quad (3.1)$$

$$= 158,9 \cdot 108,2 + 5,2 \cdot 119,8 + 111,7 \cdot 162,4 - 4 \cdot 19^2 + \pi \cdot 19^2 - 4 \cdot 20,3^2 + \pi \cdot 20,3^2 = 35\,292 \text{ mm}^2 = 35\,292 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

kde:  $v_{hp}$  [mm] výška horní poloviny  
 $\check{s}_{hp}$  [mm] šířka horní poloviny  
 $v_m$  [mm] výška mostku  
 $\check{s}_m$  [mm] šířka mostku  
 $v_{dp}$  [mm] výška dolní poloviny  
 $\check{s}_{dp}$  [mm] šířka dolní poloviny  
 $r_{hp}$  [mm] rádius zaoblení horní poloviny  
 $r_{dp}$  [mm] rádius zaoblení dolní poloviny



Obr. 56 Rozměrový náčrtek průřezu dílu do dělicí roviny

Pro účel výpočtu průmětné plochy byl díl pomyslně rozdělen na tři obdélníky (horní polovina, dolní polovina a most), od kterých byly odečteny čtverce o délce hrany rovné poloměru zaoblení a přičteny kruhy o poloměru zaoblení (3.1). Výřezy u zámku na horní polovině byly zanedbány.

$$F_{uk} = S_p \cdot p_i = 35\,292 \cdot 40 = 1\,411\,680 \text{ N} = 1\,411 \text{ kN} \quad (3.2)$$

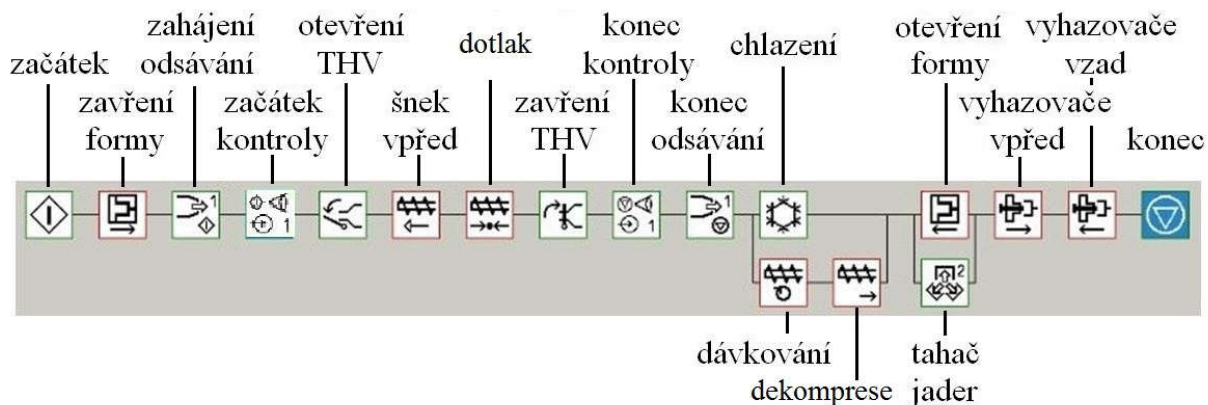
kde:  $S_p$  [mm<sup>2</sup>] průmětná plocha dílu  
 $p_i$  [MPa] maximální tlak v dutině formy

$$p_i = \frac{1}{3} \cdot p_p = \frac{1}{3} \cdot 120 = 40 \text{ MPa}$$

$$= 40 \cdot 10^6 \text{ Pa} \quad (3.3)$$

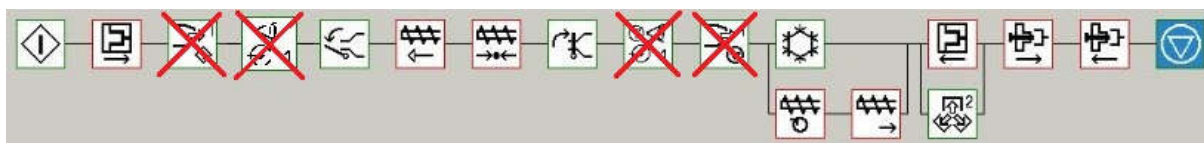
### 3.2.3 Průběh experimentu a výsledky

Pro experiment byla upravena standardní sekvence dané formy vynecháním pohybů robota (obr. 57) a sekvence suchého cyklu tak, aby došlo ke vstřikování, ale nedošlo k vyčerpání vzduchu z dutiny formy (obr. 58).



Obr. 57 Popsaná sekvence stroje (s vakuací)

Standardní sekvence je zde doplněna symboly pro odsávání, kontrolu podtlaku, ovládání trysek horkého vtoku (zkratka THV) a vyfukování tlakového vzduchu, které je pod symbolem tahače jader (stroj původně nebyl vybaven dalším okruhem stlačeného vzduchu). Kontrola podtlaku je umožněna vakuovou jednotkou, která může odesílat dva signály dle manuálně nastaveného rozsahu na displeji jednotky.



Obr. 58 Sekvence suchého cyklu (bez vakuace)

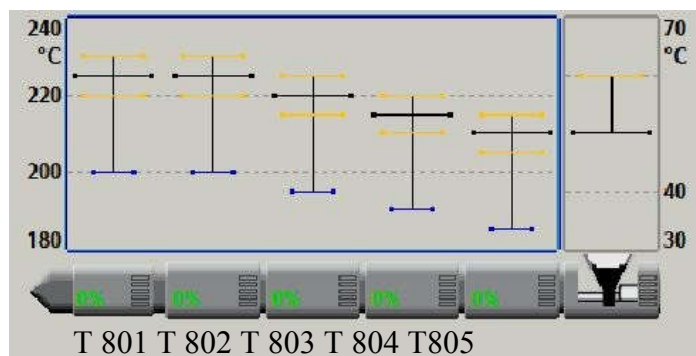
Na vakuové jednotce byly pomocí tlačítek pod displejem nastaveny hodnoty signálů ovládajících čerpání vzduchu z dutiny. První z nich informuje stroj o dosažení požadované hodnoty podtlaku a povoluje mu tak zahájit vstřikování. Pro experiment byl nastaven na -800 mbar. Druhý kontroluje hodnotu podtlaku. Tento signál je testován strojem a v případě, že by došlo k poklesu pod nastavený rozsah -780 až - 850 mbar, stroj okamžitě zastaví, aby zabránil zastříknutí ventilu

S ohledem na to, že při standardně používaném nastavení procesu k defektům nedocházelo, byly pro experiment nastaveny vyšší teploty taveniny a byla použita vyšší rychlost plnění tak, aby se projevily avizované defekty. Ve snaze natáhnout do trysky vzduch a docílit tak diesel efektu byla nastavena podstatně větší dekomprese. Stálá teplota formy byla zajištěna dvěma externími temperačními jednotkami nastavenými na 60°C. Bod přepnutí byl nastaven tak, aby se díl zaplnil do 92 – 95% ve fázi vstřikování a zbytek objemu dílu byl doplněn ve fázi dotlaku. Nastavení míry zaplnění je závislé na materiálu, použitý polypropylen by byl schopen doplnit díl i po přepnutí na 85% zaplnění dílu, jiné materiály by potřebovaly třeba až 98%. Uzavírací síla byla nastavena dle výsledku výpočtu zaokrouhleného nahoru na 1 500 kN.

Teploty topných válců v jednotlivých zónách (obr. 59), profil vstřikovací rychlosti (obr. 60) a dotlaku (obr. 61) byly nastaveny následovně (tabulka 5, 6a 7).

Tab. 5 Topení válce.

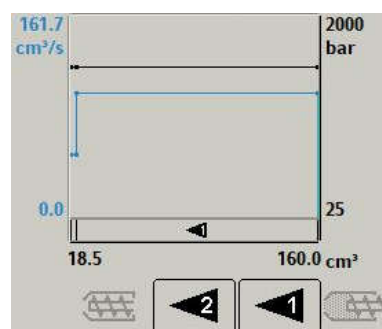
Zóna	Teplota
	[°C]
T 801	225
T 802	225
T 803	220
T 804	215
T 805	210
S tolerancí $\pm 5^{\circ}\text{C}$	



Obr. 59 Zóny topení válce

Tab. 6 Profil plnění.

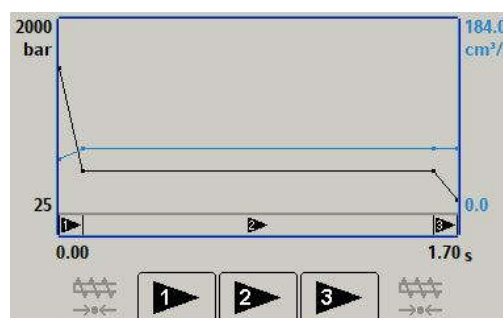
	Objem V	Průtok Q	Tak P
	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	[bar]
1. stupeň	22	100	1500
2. stupeň	18,5	50	1500



Obr. 60 Profil vstřikování

Tab. 7 Hodnoty dotlaku.

	Čas	Průtok Q	Tlak P
	[s]	[cm <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	[bar]
1. stupeň	0,1	60	450
2. stupeň	1,5		450
3. stupeň	0,1		150



Obr. 61 Profil dotlaku

V první fázi experimentu byl sledován vliv podtlaku na plnění a vznik defektů. První sada vzorků byla vstříknuta bez použití dotlaku. Experimentálně bylo vypořádováno, že při vstříknutí dávky 18,5 cm<sup>3</sup> je díl zaplněn z cca 95% a schází mu jen posledních pár milimetrů zámečku, který bude doplněn ve fázi dotlaku. Bez použití dotlaku byly vstříknuty tři vzorky ve standardním cyklu (s vyčerpáním vzduchu) a tři v suchém cyklu (bez vyčerpání). Druhá sada vzorků byla vstříknuta s působením dotlaku a opět obsahovala tři vzorky ve standardním a tři vzorky v suchém cyklu. Vzorky byly opatřeny čísly dle podmínek, za jakých byly vyrobeny:

- sada č. 1      bez použití dotlaku, bez vakua
- sada č. 2      bez použití dotlaku, s vakuem
- sada č. 3      s použitím dotlaku, bez vakua
- sada č. 4      s použitím dotlaku, s vakuem

Tab. 8 Naměřené hodnoty tlaku a času.

	Sada č. 1			Sada č. 2			Sada č. 3			Sada č. 4		
	1 <sub>1</sub>	1 <sub>2</sub>	1 <sub>3</sub>	2 <sub>1</sub>	2 <sub>2</sub>	2 <sub>3</sub>	3 <sub>1</sub>	3 <sub>2</sub>	3 <sub>3</sub>	4 <sub>1</sub>	4 <sub>2</sub>	4 <sub>3</sub>
$p_{vmax}$ [bar]	1075	1077	1077	1075	1076	1076	1083	1085	1086	1085	1082	1084
$p_p$ [bar]	1019	1032	1026	1020	1020	1028	1035	1033	1028	1036	1040	1035
$t_v$ [s]	1,60	1,59	1,60	1,59	1,59	1,60	1,59	1,59	1,59	1,59	1,60	1,60

Z hodnocených parametrů zaznamenaných v průběhu každého cyklu, viz tabulka 8, vidíme, že na tlakové podmínky a vstřikovací čas odčerpání vzduchu z dutiny nemělo žádný vliv.

Při vizuálním hodnocení vzorků už rozdíly patrné jsou. Vzorky z obou prvních sad (bez dotlaku) mají nahodile rozmístěné bubliny, které však nemusí souviset s odvzdušněním (obr. 62 a obr. 63). Použitý polypropylen je semikrystalický a při ochlazování tak tvoří částečně uspořádanou strukturu, která zabírá méně objemu. Pokud není volný prostor zaplněn (v dotlakové fázi), pak v dílu zůstanou vzduchoprázdné prostory vypadající jako bubliny, které se nazývají vakuoly nebo lunkry. Rozdíly související s uzavřeným vzduchem lze pozorovat u zámečku. Zde jsou patrné odlišnosti v zatečení. Zatímco u první sady (bez vakua) jsou zpevňující žebra nedotečená a vnitřní strana vnější stěny je vroubkovaná (obr. 64), druhá sada má žebra dotečená a stěnu hladkou (obr. 65).



Obr. 62 Celkový pohled - díl sady 1



Obr. 63 Celkový pohled - díl sady 2



Obr. 64 Detail zámku - díl sady 1



Obr. 65 Detail zámku - díl sady 2



Vzorky z druhých sad (s dotlakem) už velké náhodně rozmístěné bubliny nevykazují, což poukazuje na to, že se opravdu jednalo o vakuoly, které byly potlačeny dotlakem. Je zde ale naprosto patrné zlepšení díky vakuovému odvzdušnění. Všechny díly sady 3, u nichž k vyčerpání dutiny nedošlo, mají v zámku, tedy v okolí posledního bodu plnění, bubliny (obr. 66). Díly sady 4 vstříkované za použití podtlaku bubliny nemají (obr. 67). Rozdíl je naprosto zjevný, když se krabičky postaví za sebe (obr. 68).

Na všech dílech sady 3 a sady 4 jsou patrné tenké přetoky délky asi 1 mm. Vzhledem k tomu, že při standardní výrobě se neobjevují, je to nejspíše způsobeno vyšší tekutostí materiálu vlivem vyšší teploty.



Obr. 66 Detail zámku - díl sady 3



Obr. 67 Detail zámku - díl sady 4



Obr. 68 Srovnání dílů sady 3 a sady 4

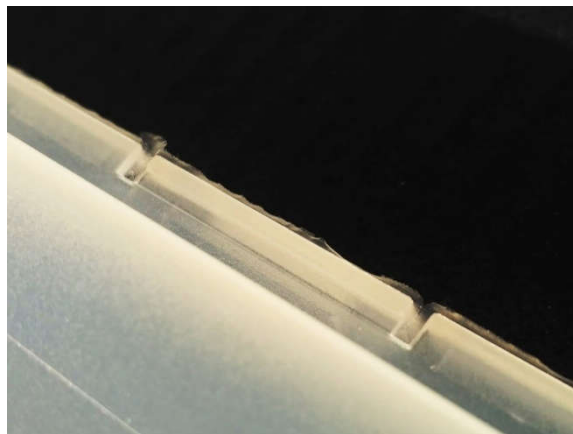
V druhé fázi byl sledován vliv podtlaku na uzavírací sílu. Jediný kvantifikovatelný jev, na který má uzavírací síla vliv, je tvorba přetoků. Pokud je síla malá, pak dojde k pootevření formy a tavenina plastu, která se dostane do dělicí roviny, se na výsledném dílu projeví jako přetok. Jako mezní hodnota velikosti přetoku, při jejímž dosažení dojde k ukončení testu, byla zvolena délka přetečení 2 mm. V první fázi testování byla přidržovací síla nastavena na hodnotu 1500 kN. Už při tomto nastavení se kolem zámků objevovaly přetoky, což se standardně nestává, tudíž lze předpokládat, že to bylo způsobeno zvýšením teploty (a tím i tekutosti) taveniny. Přidržovací síla byla snižována o hodnotu 100 kN a vzorky byly popsány následovně:

sada č. 5	uzavírací síla snížena na 1 400 kN, bez vakua
sada č. 6	uzavírací síla snížena na 1 400 kN, s vakuem
sada č. 7	uzavírací síla snížena na 1 300 kN, bez vakua
sada č. 8	uzavírací síla snížena na 1 300 kN, s vakuem

Při snížení uzavírací síly na 1 400 kN se přetoky začaly projevovat kolem celého obvodu horní poloviny krabičky a jejich délka byla místy i 1,5 mm a to na obou sadách bez rozdílu při vyčerpání dutiny nebo bez něj (obr. 69 a obr. 70).



Obr. 69 Detail zámku - díl sady 5



Obr. 70 Detail zámku - díl sady 6

Při snížení uzavírací síly na 1300 kN se přetoky začaly projevovat i na spodní polovině krabičky a u zámku dosahovaly hodnoty až 3 mm, opět bez rozdílu v případě vakua i bez (obr. 71 a obr. 72). Při dalším snížení uzavírací síly už by hrozilo zastržení odvětrávacích otvorů, proto byl experiment zastaven.



Obr. 71 Detail zámku - díl sady 7



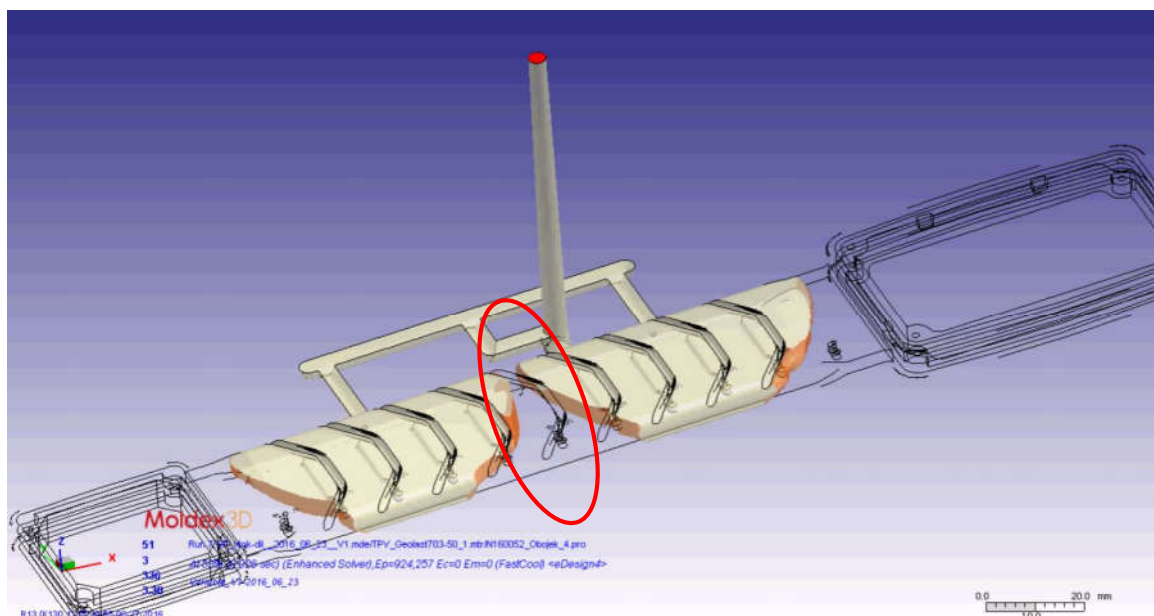
Obr. 72 Detail zámku - díl sady 8



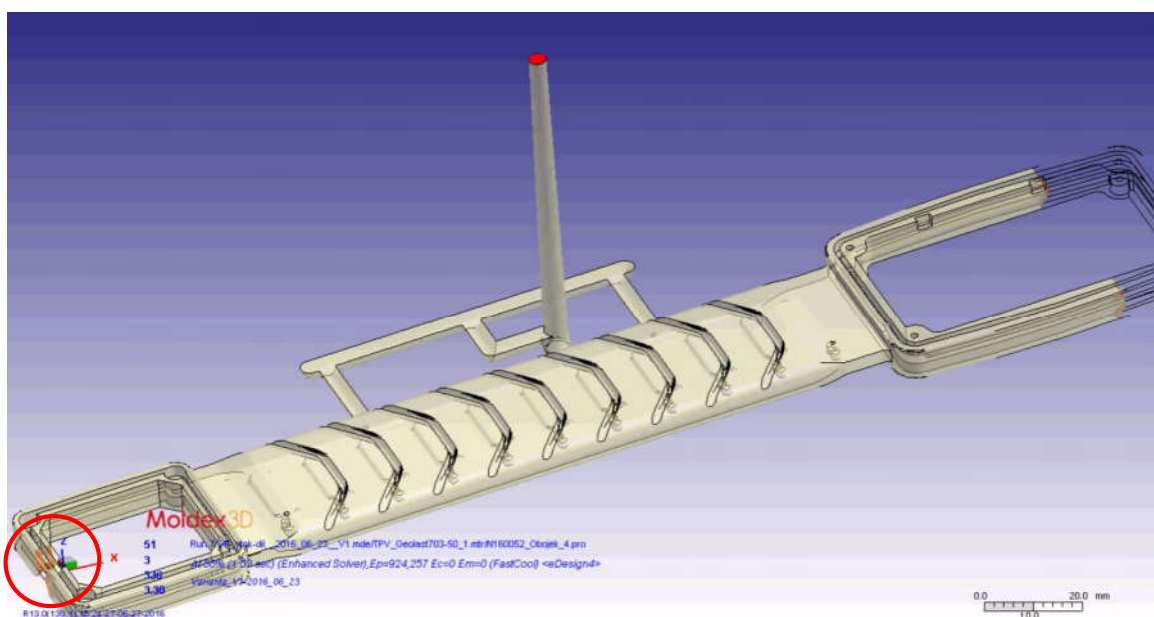
### 3.3 Realizace experimentu obojek [46]

Experiment byl z důvodu zaplnění výrobní kapacity firmy CECHO realizován v prostorách kooperující firmy CPLAST sídlící v Kozlově (u Křižanova) na stroji Allrounder 420 C 1000-350. Příložená simulace plnění dutiny byla vypracována pracovníky firmy CECHO v programu Moldex 3D.

Díky rozdělení vtoku do dvou vtokových ústí na ní můžeme pozorovat rozdělení proudů taveniny a opětovné spojení zhruba ve středu dílu (obr. 73). Posledními body plnění jsou v místech spojení proudů taveniny na krajových částech čtvercové smyčky (obr. 74). V těchto místech dojde k vytvoření studených spojů. K dosažení vysoké vizuální kvality spojů je důležité umožnit odchod vzduchu uzavřenému mezi čely proudů taveniny a stěnou formy.



Obr. 73 Vznik studeného spoje ve středu dílu [46]



Obr. 74 Vznik studeného spoje na levém okraji dílu [46]

### 3.3.1 Popis stroje, nástroje a materiálu [46; 51; 52; 53]

Allrounder 420 C 1000-350 je označení plně hydraulického stroje, umožňujícího uspořádání v sedmi pracovních polohách s uzavírací silou 1000 kN, prostorem mezi vodícími tyčemi 470x470 mm a plastikační jednotkou velikosti 350 (součin plastikační kapacity a vstřikovacího tlaku vydělený tisícem)



Obr. 75 Použitý vstřikovací stroj

Konkrétní stroj, vlastněný firmou CPLAST (obr. 75), je ve standardní pracovní poloze, tedy s horizontální polohou vstřikovací a uzavírací jednotky se středěným vstřikováním do pevné desky. Z důvodu ručního zakládání kabelu stroj pracuje v poloautomatickém režimu. Základní parametry stroje jsou shrnuty v tabulce 9, bližší informace viz příloha 4.

Tab 9. Technická data stroje [51].

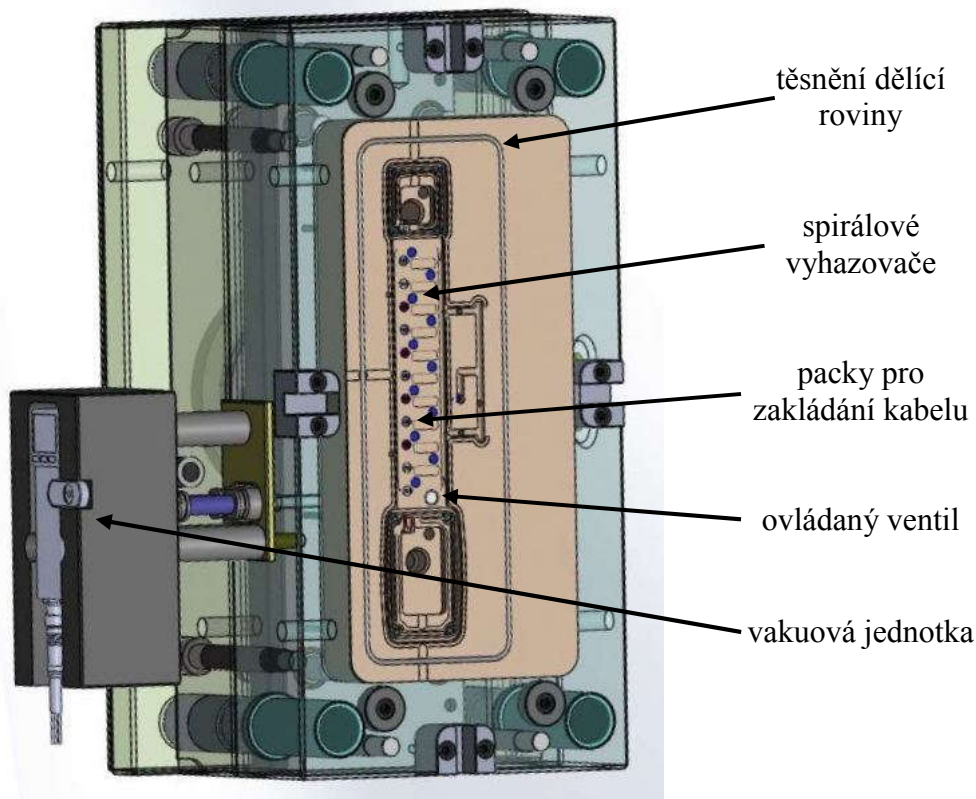
	Parametr stroje	Hodnota
Zavírací jednotka	Uzavírací síla	max. 1000 kN
	Instalační výška formy	min. 250 mm
	Vzdálenost mezi deskami	max. 750 mm
	Vzdálenost mezi vodícími sloupky	420x420 mm
Vstřikovací jednotka	Průměr šneku	45mm
	Pracovní délka šneku L/D	20
	Vstřikovací tlak	2 000 bar

Do zavírací jednotky stroje byla pomocí mechanických upínačů upnuta forma o rozměrech 396x264 mm a výšce 196 mm (obr. 76). Dělicí rovina na dílu byla umístěna tak, aby stopy po válcových vyhazovačích nebyly na pohledové straně. V pohyblivé polovině formy, která tedy tvoří zadní stranu dílu, se pomocí pacek zakládá před každým vstřikem koaxiální kabel. Tavenina je dopravována studeným vtokem, což zvyšuje objem, který je po uzavření formy zaplněn vzduchem. Navíc po každém výstřiku musí plastikační jednotka odjet, čímž se zvyšuje riziko natáhnutí vzduchu do trysky.

Pohyblivá polovina byla vybavena jednotkou AUTOMATIC VACUUMJET 40 (stejný model jako na předchozí formě), ventilem ovládaným pneumatickým pístem, vrtáním pro pohyby vzduchu a těsněním dělicí roviny s vyhazovači. Na této formě není drážka okolo tvaru a tak veškerý odvod vzduchu musí zajistit ventil a spirálové vyhazovače (obr. 77).

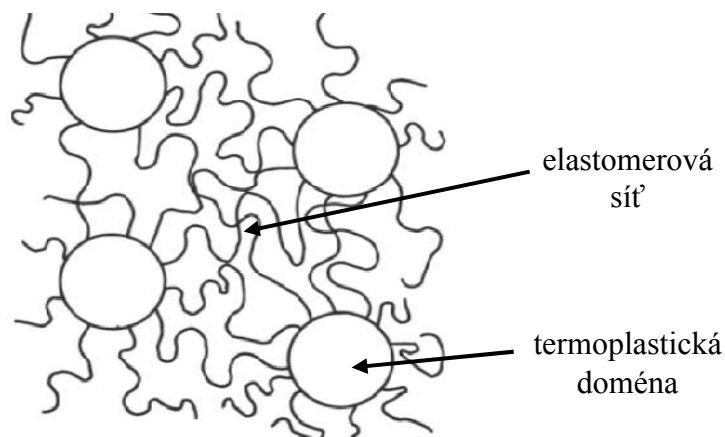


Obr. 76 Pohled do otevřené formy



Obr. 77 Model pohyblivé poloviny formy s popisem [46]

Pro výrobu obojku je používán černý termoplastický elastomer s obchodním názvem Elastron V101.A65.B. Termoplastický elastomer (TPE) je polymerní materiál tvořený kombinací elastomeru a termoplastu. Jak bylo zmíněno na začátku práce, elastomery jsou tvořeny řídce zesítnou strukturou, která jim umožňuje snadnou a vratnou deformaci. Vznik této struktury tzv. vulkanizace je časově a výrobně náročnější (nutnost vyhřívání formy na vyšší teploty než u vstřikování termoplastů) a nelze jej opakovat. Pokud je elastomer zkombinován s termoplastem, pak jsou chemické uzly sítě nahrazeny částicemi termoplastu tzv. doménami (obr. 78), při běžné teplotě nebrání pružnému chování a při ohřátí umožňují tečení výsledného polymeru.



Obr. 78 Struktura termoplastického elastomeru [53]

Použitý Elastron je kombinací elastomeru etylen-propylen-dienového kaučuku (EPDM) a polypropylenu (PP). Syntetický kaučuk EPDM se díky své vysoké odolnosti vůči nepříznivým povětrnostním vlivům výborně hodí na exteriérové použití, jako tomu je u tohoto dílu. Dále se tento materiál vyznačuje vysokou teplotní odolností, odolností vůči stárnutí ozonu a chemikáliím.

V materiálovém listu tohoto polymeru není index toku taveniny uveden, ale pro zpracování je doporučeno vstřikování a extruze, z čehož lze usoudit, že se jedná o špatně tekutý materiál s nízkou hodnotou indexu toku taveniny. Viskozita termoplastických elastomerů je více závislá na smykové rychlosti než na teplotě. Ke zlepšení tekutosti a dosažení dokonalého zatečení materiálu je tak vhodné použít co nejvyšší vstřikovací rychlost, která klade vysoké nároky na efektivnost odvzdušnění. Základní materiálové vlastnosti a doporučené zpracovatelské parametry jsou shrnuty v tabulce 10, bližší informace viz příloha 5.

Tab. 10 Doporučené zpracovatelské hodnoty a parametry materiálu Elastron V101.A65.B [54].

Parametr	Značka	Hodnota
Index toku taveniny	ITT	neuvedeno
Hustota při 23°C	$\rho$	0,97 g.cm <sup>-3</sup>
Teplota taveniny	$T_t$	190 - 235°C
Teplota formy	$T_f$	25 - 50°C
Teplota odformování	$T_o$	45 – 80°C
Vstřikovací tlak	$p_v$	1000 - 1 200 bar
Dotlak	$p_d$	600 - 800 bar
Tvářecí tlak	$p_t$	300 - 450 bar



### 3.3.2 Výpočet velikosti odvězdušňovacích drážek [24].

Průřez odvězdušňovacích drážek byl opět vypočten za pomoci anglického (2.1) i českého vzorce (2.3). Forma je vybavena studeným vtokem, který je nutno zahrnout do výpočtu objemu vzduchu v dutině. Objem dílce i vtoku byl odečten z 3D modelu v programu SOLIDWORKS. Za teplotu vzduchu ve formě byla brána teplota okolí.

Výpočet průřezu odvězdušňovacích drážek dle anglického vzorce:

$$S_{Ao} = \frac{V_o}{\sqrt{\frac{T_v + 273}{293}} \cdot 2 \cdot 10^5} = \frac{5\,302}{\sqrt{\frac{20 + 273}{293}} \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,027 \text{ mm}^2$$

kde:  $T_v = 20^\circ\text{C}$  teplota vzduchu ve formě

$$V_o = \frac{V_{do} + V_{vo}}{t_{vo}} = \frac{25\,688 + 1\,353}{5,1} = 5\,302 \text{ mm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

kde:  $V_{do} = 25\,688 \text{ mm}^3$  objem tvarové dutiny - díl obojek

$V_{vo} = 1\,353 \text{ mm}^3$  objem vtokové soustavy - díl obojek

$t_{vo} = 5,1 \text{ s}$  doba vstřikování - díl obojek

Výpočet průřezu odvězdušňovacích drážek dle českého vzorce:

$$S_{Czo} = 25 \sqrt{T_2 + 273} \frac{G_{1k}}{p_1 t_{vo}} = 25 \sqrt{616,5} \frac{31,4 \cdot 10^{-6}}{0,101 \cdot 5,1} = 0,038 \text{ mm}^2$$

kde:  $p_1 = 0,1 \text{ MPa}$  tlak vzduchu v dutině

$$T_2 = (T_v + 273) \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} = (20 + 273) \left( \frac{30}{0,1} \right)^{\frac{1,15-1}{1,15}} = 616,5 \text{ K}$$

kde:  $p_2 = 30 \text{ MPa}$  tlak vzduchu stlačeného taveninou

$n = 1,15$  polytropický exponent

$$G_{1k} = (V_{do} + V_{vo}) \cdot 10^{-9} \cdot \gamma = (25\,688 + 1\,353) \cdot 10^{-9} \cdot 1,16 = 31,4 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$$

Výpočet šířky odvězdušňovací drážky z průřezu dle anglické literatury:

$$\check{s}_{Ak} = \frac{S_{Ao}}{v_o} = \frac{0,027}{0,025} = 1,10 \text{ mm}$$

kde:  $v_o = 0,025$  maximální tloušťka drážky - díl obojek

Výpočet šířky odvězdušňovací drážky z průřezu dle české literatury:

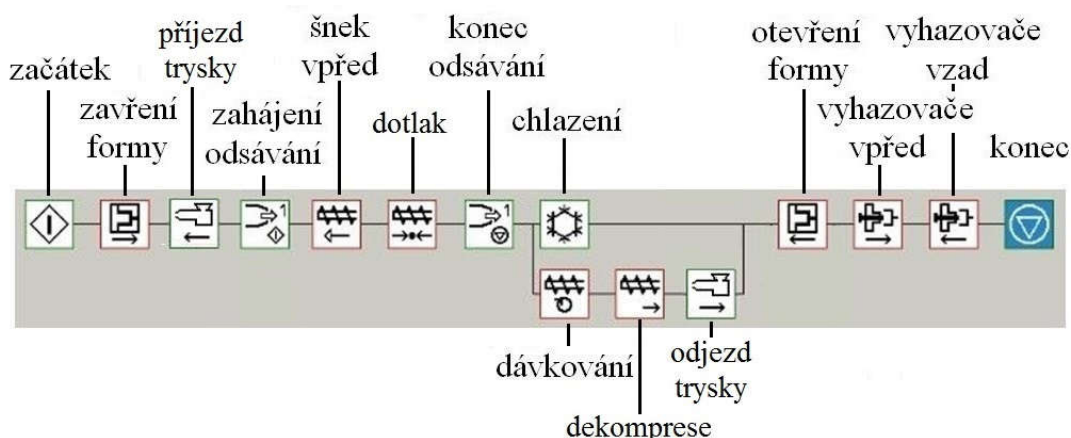
$$\check{s}_{Czk} = \frac{S_{Czo}}{t_o} = \frac{0,038}{0,025} = 1,60 \text{ mm}$$

Maximální doporučená tloušťka odvězdušňovací drážky pro TPE je 0,025 mm. Šířku drážky dostaneme, podělíme-li průřez tloušťkou (3.1) a (3.2).



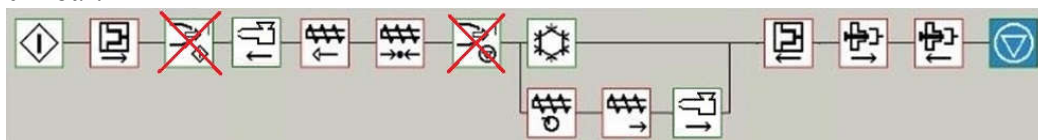
### 3.3.3 Průběh experimentu a výsledky

Pro tento experiment nebyly nutné žádné zásahy do výrobní sekvence stroje (obr. 79). Pouze byl upraven suchý cyklus tak, aby došlo ke vstřikování, ale nedošlo k vyčerpání vzduchu z dutiny formy (obr. 80).



Obr. 79 Popsaná sekvence stroje (s vakuací)

Tato forma byla vybavena studeným vtokem, ovládání trysek horkého vtoku použité u minulé formy bylo nahrazeno příjezdem a odjezdem plastikační jednotky. Také zde byla vynechána kontrola podtlaku uvnitř dutiny. Ovládání vakuové jednotky bylo realizováno pomocí času. Po příjezdu trysky byl otevřen píst a zahájeno odčerpávání, po třech sekundách byl píst zavřen a zahájeno vstřikování. Podtlak generovaný vakuovou jednotkou byl nastaven na -800 mbar.

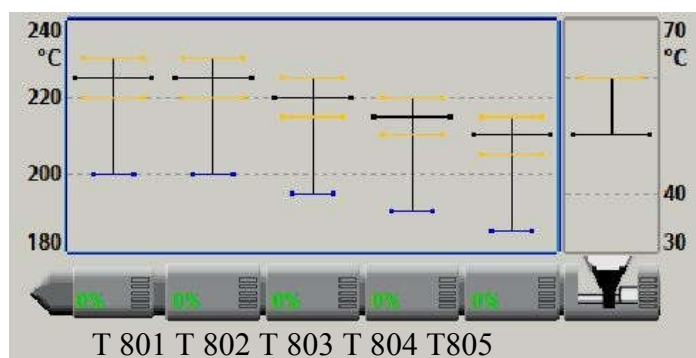


Obr. 80 Sekvence suchého cyklu (bez vakuace)

Parametry procesu byly nastaveny dle seřizovacího listu stejné jako při standardní výrobě. Forma byla temperována na teplotu 50°C. Teploty topných válců v jednotlivých zónách (obr. 81), profil vstřikovací rychlosti (obr. 82) a dotlaku (obr. 83) byly nastaveny následovně (tabulka 11, 12 a 13).

Tab. 11 Topení válce.

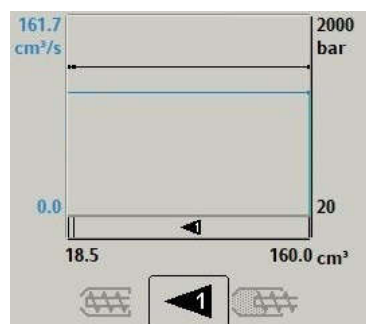
Zóna	Teplota
	[°C]
T 801	210
T 802	210
T 803	210
T 804	200
T 805	180
S tolerancí ± 5°C	



Obr. 81 Zóny topení válce

Tab. 12 Profil plnění.

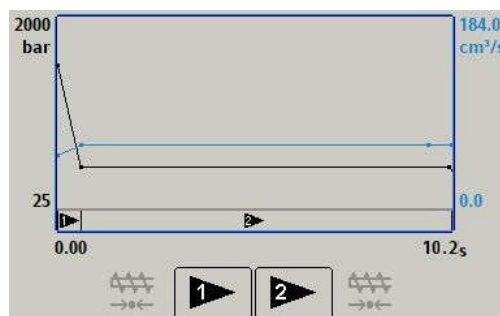
	Objem V	Průtok Q	Tlak P
	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	[bar]
1. stupeň	12	10	1000



Obr. 82 Profil vstřikování

Tab. 13 Hodnoty dotlaku.

	Čas	Průtok Q	Tlak P
	[s]	[cm <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	[bar]
1. stupeň	0,2	25	350
2. stupeň	10		350



Obr. 83 Profil dotlaku

Při experimentu byl sledován vliv podtlaku na hodnocené parametry a kvalitu studených spojů na vzorcích vystříknutých za standardně používaných podmínek. Prvně byly vystříknuty tři vzorky bez použití vakuového systému a následovaly tři vzorky při použití vakuového systému. Vzorky byly popsány následovně:

sada č. 9      bez vakua  
sada č. 10     s vakuem

Tab. 14 Naměřené hodnoty tlaku a času.

	Sada č. 9			Sada č. 10		
	9 <sub>1</sub>	9 <sub>2</sub>	9 <sub>3</sub>	10 <sub>1</sub>	10 <sub>2</sub>	10 <sub>3</sub>
p <sub>vmax</sub> [bar]	1012	1008	1003	1005	1015	1006
p <sub>p</sub> [bar]	980	975	978	982	968	979
t <sub>v</sub> [s]	5,10	5,09	5,10	5,09	5,09	5,10

Hodnocené parametry tlaku a času naměřené u každého vzorku mají velmi podobné hodnoty, které se liší v řádu jednotek MPa při pozorování tlakových poměrů a v řádech setin sekundy při sledování doby plnění. Lze tedy konstatovat, že na ně odčerpání vzduchu nemělo žádný vliv.

Dále byly pozorovány vzhledové rozdíly studených spojů, ke kterým dochází ve třech místech. První z nich je v polovině pásu mezi vtoky. Další dva jsou na krajích dílu, kde se spojují proudy jdoucí rameny čtvercových smyček.

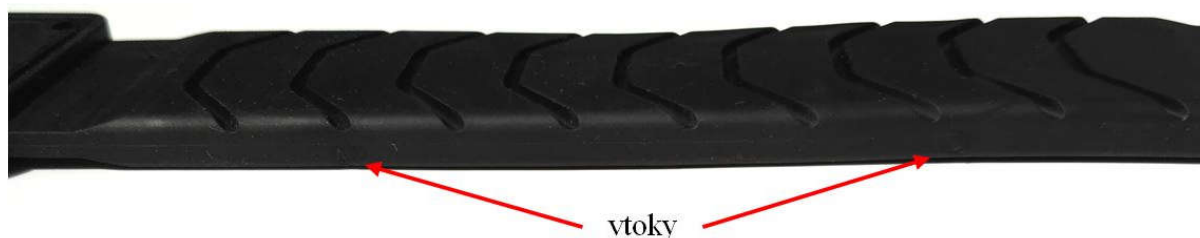


Obr. 81 Celkový pohled - díl sady 9

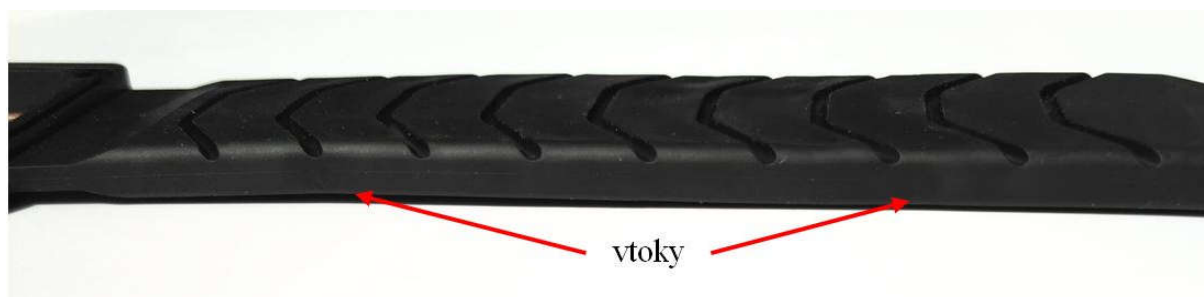


Obr. 82 Celkový pohled - díl sady 10

Z celkového pohledu na díly (obr. 81 a obr. 82) je zřejmé, že došlo k výraznému zlepšení studených spojů, které se vyskytují na krajích dílu. Naopak spoj, ke kterému dochází uprostřed dílu, není viditelný na žádném z vzorků (obr. 83 a obr. 84). To je především díky tomu, že je tak blízko k vtokům. Materiál zde není moc ochlazený, působí na něj vyšší tlak a díky tomu má i vysokou smykovou rychlost, na které v případě tohoto druhu termoplastického elastomeru závisí viskozita.



Obr. 83 Detail střední části - díl sady 9



Obr. 87 Detail střední části - díl sady 10

Na detailních pohledech na krajové studené spoje lze pozorovat pozitivní změnu vzhledu a kvality spojů. Tam kde se s klasickým odvzdušněním proudy taveniny sotva spojily (obr. 88 a obr. 90), se po použití vakuového systému vnější strana zalila na levé straně dokonale (obr. 89) a na straně pravé, která je vzdálenější od vtoku, jen s drobnými nedostatky (obr. 91). Na vnitřní straně je sice patrné nedokonalé zatečení na obou stranách dílu, ale v porovnání s původním stavem mají na mechanické vlastnosti spoje mnohem menší vliv.



Obr. 88 Detail levého kraje - díl sady 9



Obr. 89 Detail levého kraje- díl sady 10



Obr. 90 Detail pravého kraje - díl sady 9



Obr. 91 Detail pravého kraje - díl sady 10

### 3.4 Zhodnocení experimentu

Z porovnání výsledků experimentu realizovaného na formě na výrobu svačinových boxů vyplývá, že použití vakuového systému přineslo požadované zlepšení vizuální kvality dílu a eliminovalo tvorbu bublin, ale nemělo vliv na velikost potřebné uzavírací síly. Je však nutné zmínit, že obě fáze experimentu (s využitím podtlaku i bez) byly realizovány na formě, která již byla vakuovým systémem vybavena. Aplikace systému zahrnovala konstrukční úpravy formy (podobné jako v kapitole 3.5), jako je tvorba drážky kolem celé dutiny a kanálů pro odvod vzduchu spojených s dutinou formy. Systém dutiny a kanálků byl sice v průběhu testu bez použití podtlaku uzavřený, ale díky drážce se v něm vzduch relativně snadno pohyboval a k jeho kompresi tak docházelo v rámci dutiny i systému kanálků.

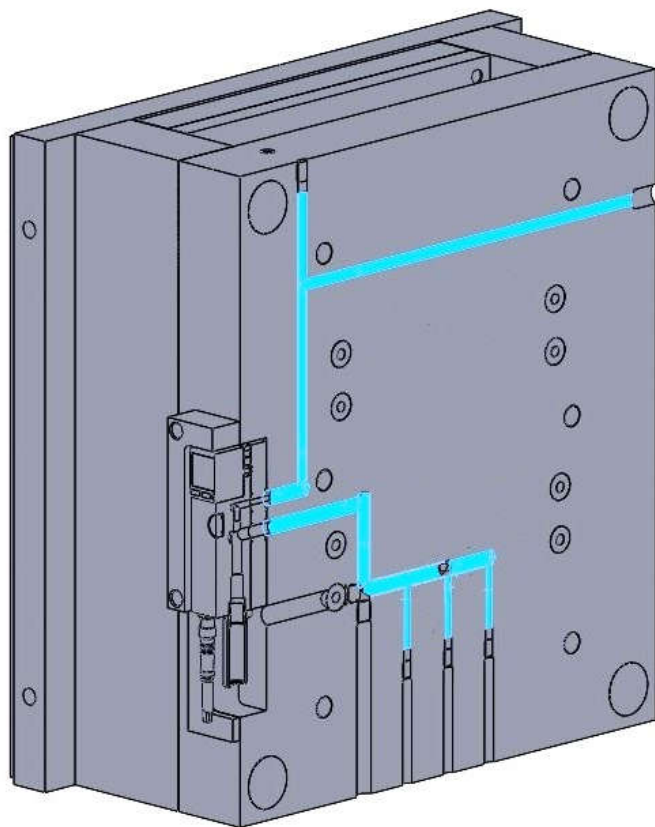
$$p_1 V_1^{\kappa} = p_{2k} V_{2k}^{\kappa} \quad (3.4)$$

kde:	$V_1$	$[\text{mm}^3]$	objem vzduchu v systému
	$\kappa$	$[-]$	poissonova konstanta
	$p_{2k}$	$[\text{MPa}]$	tlak vzduchu po kompresi
	$V_{2k}$	$[\text{mm}^3]$	objem vzduchu po kompresi

$$p_{2d} = p_1 \left( \frac{V_{ok}}{0,02 V_{dk} + V_{ok}} \right)^{\kappa} = 0,10 \left( \frac{83\,560 + 7\,660}{0,02 \cdot 83\,560 + 7\,660} \right)^{1,4} = 0,22 \text{ MPa} \quad (3.5)$$

kde:  $V_{ok} = 7\,660$                       objem kanálků pro odvod vzduchu  
 $\kappa = 1,4$                                 poissonova konstanta vzduchu

Pokud bude uvažováno, že při kompresi vzduchu nedochází k výměně tepla, pak můžeme ze zjednodušené adiabatické změny (3.4) vyjádřit vztah pro výpočet tlaku vzduchu v uzavřeném systému v konečných okamžicích vstřiku, kdy je z 98% zaplněn (3.4). Porovnáme-li výše vypočtený tlak s empirickou hodnotou maximálního tlaku stlačeného vzduchu v nedostatečně odvzdušněné dutině (20-30 MPa), pak vidíme, že v takto upravené formě dochází k výrazně nižšímu nárůstu tlaku. Protože nedochází k výraznějšímu zvýšení tlaku v dutině způsobeného stlačováním vzduchu, pak ani nevzrůstá síla otvírající formu a na ni reagující potřebná uzavírací síla.



Obr. 92 Systém odvzdušňovacích kanálků

Důvodem, proč se při experimentu nepotvrdil vliv podtlaku na snížení uzavírací síly, je možná přítomnost systému kanálů pro odvod vzduchu (obr. 92), kterým byla forma vybavena kvůli aplikaci vakuové jednotky, do kterých se může stlačit vzduch z dutiny, aniž by se výrazně zvyšoval tlak v ní. Z toho důvodu se možná neobjevovaly bubliny při standardních parametrech, které byly pro experiment za účelem vyvolání defektů zvýšeny.

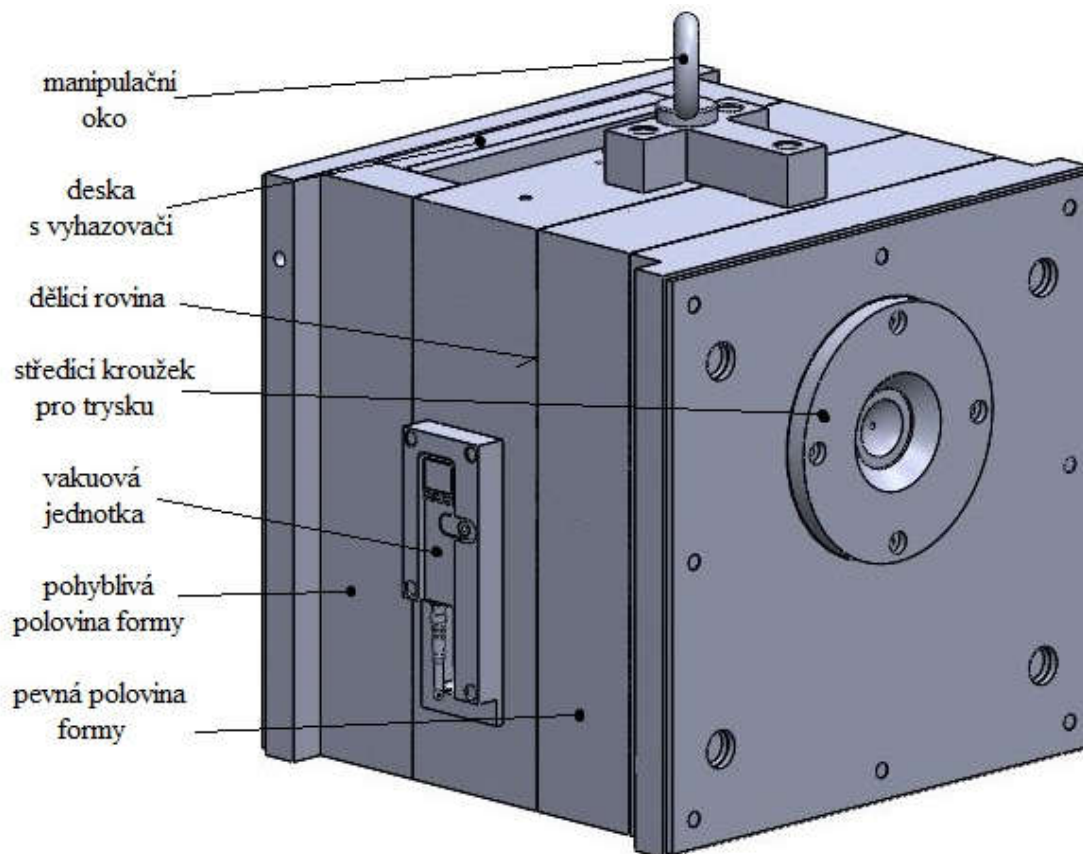
Výsledek experimentu na formě vyrábějící součást GPS obojku je mnohem relevantnější. K vyčerpání vzduchu docházelo uzavíratelným ventilem a spirálovitými vyhazovači, takže forma neobsahovala žádný objemný systém vrtání spojený s dutinou, do kterého by se mohl vtlačovat vzduch. Porovnání

výsledků ukazuje, že použití podtlaku přineslo zlepšení studených spojů. Jsou sice stále viditelné, ale plocha spoje je mnohem větší a lze tedy očekávat mnohem lepší mechanické vlastnosti, zejména pevnost spoje.

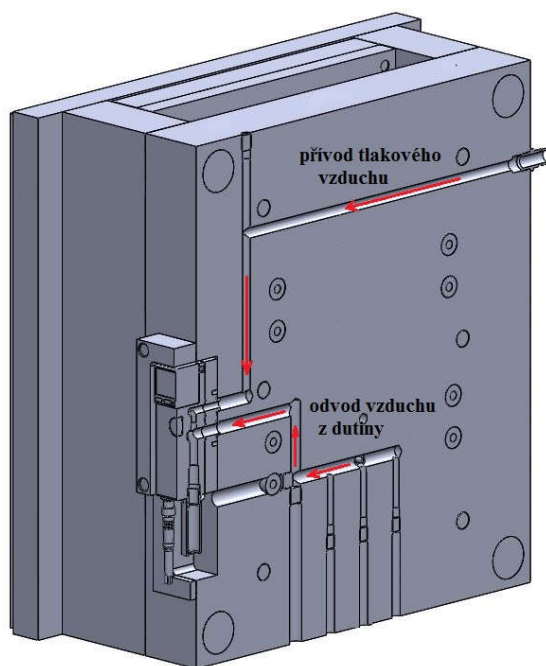


### 3.5 Rámcový návrh formy s vakuovým odvzdušněním

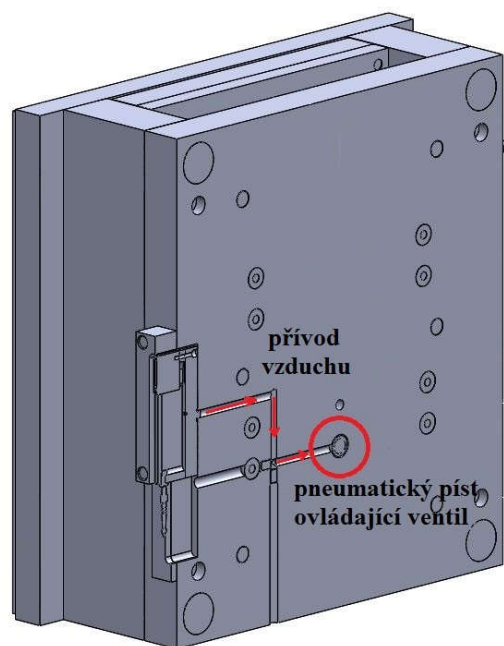
Pro demonstraci úpravy formy byla vytvořena rámcová konstrukce formy ukazující příklad aplikace elementů vakuového systému. Pro usnadnění orientace v dokumentaci byly zanedbány mnohé funkční elementy, jako je vrtání temperačního systému, přívod tlakového vzduchu k podpoře odformování a systém horkého vtoku.



Obr. 93 Celkový pohled na model formy

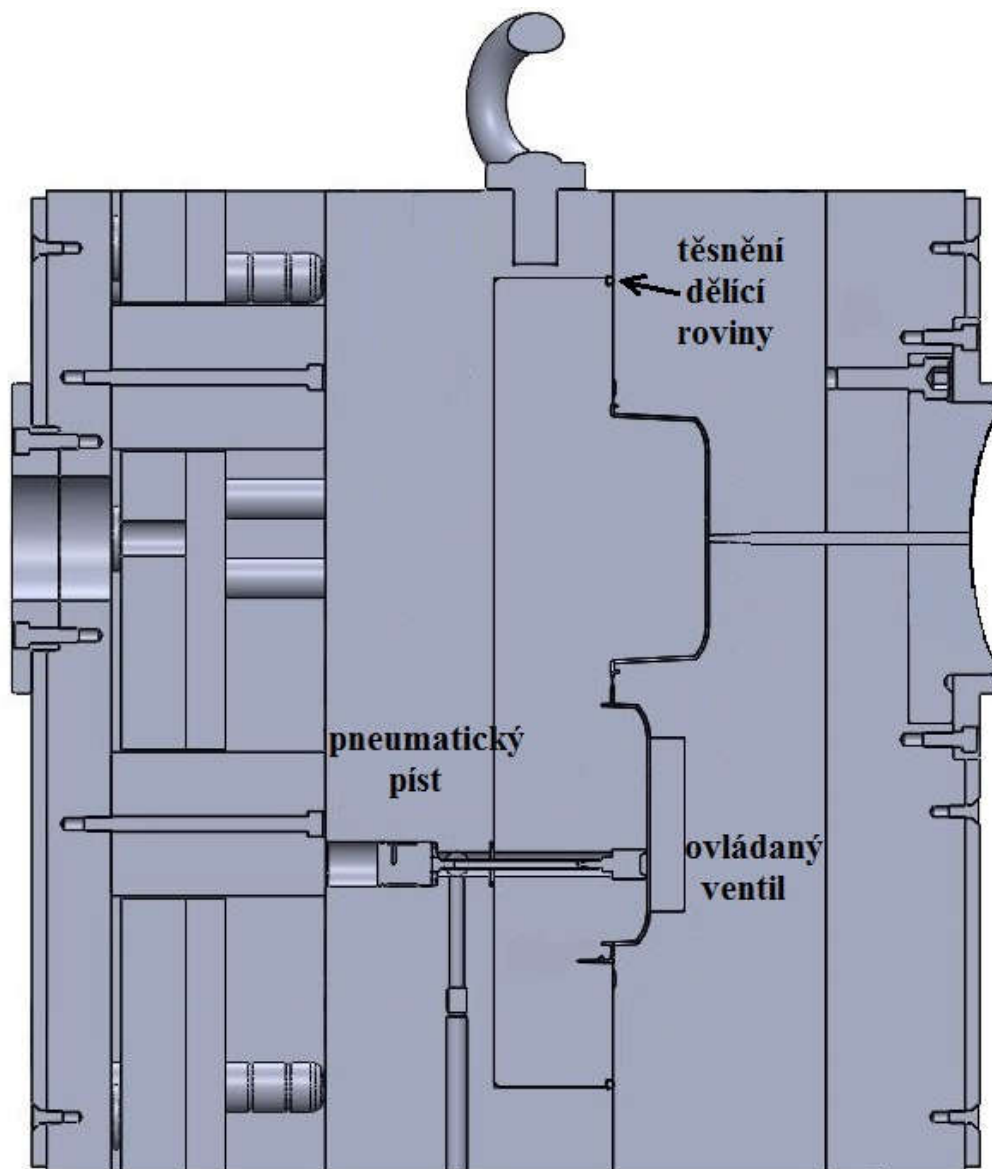


Obr. 94 Řez formou - přívod a odvod vzduchu

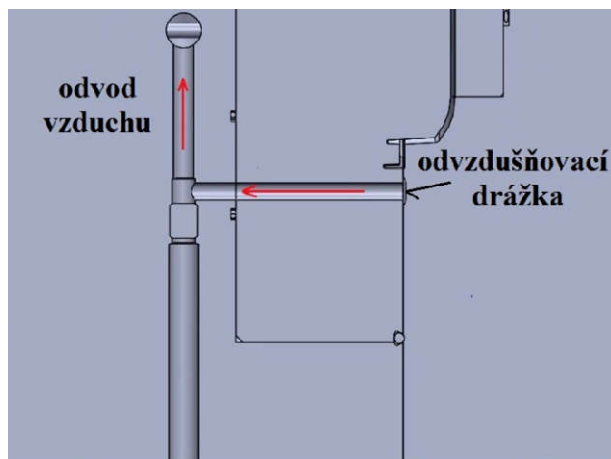


Obr. 95 Řez formou - ovládání pístu

Pro rámcovou konstrukci byl vypracován výkres sestavení se seznamem položek zahrnující pouze díly vakuového systému a díly, které bylo nutno upravit. Pro upravované díly byly vypracovány samostatné výkresy definující potřebné úpravy.



Obr. 96 Řez formou - umístění pístu a ventilu



Obr. 97 Detail řezu - odsávání z drážky

## 4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Účelem technicko-ekonomického hodnocení bylo hrubé porovnání hospodárnosti investice do aplikace vakuového systému s náklady vzniklými výrobou zmetků.

Forma na krabičky neslouží k zakázkové výrobě, ale pro účely tohoto zhodnocení bylo uvažováno, že tomu tak je a že je vyráběno 200 000 kusů ročně. Předpokládaná zmetkovitost (tedy počet zmetků ve výrobě vyjádřený v procentech) byla odhadnuta na 5% a náklady na výrobu jednoho kusu byly kvalifikovaným odhadem stanoveny na 4,90 Kč.

Tab. 15 Vstupní parametry - díl krabička.

Parametr	Značka	Jednotka	Hodnota
Velikost výrobní série	$S_k$	[ks.rok <sup>-1</sup> ]	200 000
Náklady na výrobu jednoho kusu	$N_k$	[Kč]	4,90
Původní zmetkovitost	$Z_{k1}$	[%]	5
Zmetkovitost po optimalizaci	$Z_{k2}$	[%]	1

Pro aplikaci vakuového systému byly nutno nakoupit díly shrnuté v tabulce 16 (ceny jsou uvedeny bez DPH), náklady na úpravu formy nebyly zahrnuty.

Tab. 16 Shrnutí pořizovacích nákladů na vakuový systém - díl krabička.

Položka	Množství	Cena za mj.	Cena celkem
AUTOMATIC VACUUMJET 40	1 ks	25 581 Kč	25 581 Kč
Pneumatický píst	1 ks	1 079 Kč	1 079 Kč
Ventil vacuumjet Ø 8 mm	1 ks	1 418 Kč	1 418 Kč
Vacuumjet těsnění Ø 3 mm	2,1 m	247 Kč	519 Kč
Celková cena vybavení			28 597 Kč

$$RN_{5\%} = S_k \cdot N_k \cdot \left(1 + \frac{Z_{k1}}{100}\right) = 200\,000 \cdot 4,90 \cdot \left(1 + \frac{5}{100}\right) = \mathbf{1\,029\,000\,Kč} \quad (4.1)$$

kde:  $RM_{5\%}$  [Kč] Roční náklady na výrobu při zmetkovitosti 5%

$$RN_{1\%} = S_k \cdot N_k \cdot \left(1 + \frac{Z_{k2}}{100}\right) = 200\,000 \cdot 4,90 \cdot \left(1 + \frac{1}{100}\right) = \mathbf{989\,800\,Kč} \quad (4.2)$$

$RM_{1\%}$  [Kč] Roční náklady na výrobu při zmetkovitosti 1%

$$RN_{5\%} - RN_{1\%} = 1\,029\,000 - 989\,800 = \mathbf{39\,200\,Kč}$$

Pokud by použití vakuového odvodu snížilo zmetkovitost na 1%, pak by se roční výrobní náklady snížili z 1 029 000 Kč (4.1) na 989 800 Kč (4.2) a za rok by vznikla úspora 39 200 Kč. Při porovnání této úspory s náklady na vakuový systém v hodnotě 28 600 Kč (zaokrouhleno) lze pozorovat, že k návratu investice by došlo za dříve než rok.

Forma na obojek slouží k výrobě 1 000 kusů za měsíc. Zmetkovitost byla v posledním roce vyhodnocena na 4,88 % a náklady na výrobu jednoho kusu byly zaokrouhleny na 7,90 Kč. Zmetkovitost byla použitím vakuového systému snížena na 1,5 %.

Tab. 17 Vstupní parametry - díl obojek.

Parametr	Značka	Jednotka	Hodnota
Velikost výrobní série	$S_o$	[ks.rok <sup>-1</sup> ]	12 000
Náklady na výrobu jednoho kusu	$N_o$	[Kč]	7,90
Původní zmetkovitost	$Z_{o1}$	[%]	4,88
Zmetkovitost po optimalizaci	$Z_{o2}$	[%]	1,5

Pro aplikaci vakuového systému byly nutno nakoupit díly shrnuté v tabulce 18 (ceny jsou uvedeny bez DPH), náklady na úpravu formy nebyly zahrnuty.

Tab. 18 Shrnutí pořizovacích nákladů na vakuový systém - díl obojek.

Položka	Množství	Cena za mj.	Cena celkem
AUTOMATIC VACUUMJET 40	1 ks	25 581 Kč	25 581 Kč
Pneumatický píst	1 ks	1 079 Kč	1 079 Kč
Ventil VACUUMJET Ø 8 mm	1 ks	1 418 Kč	1 418 Kč
Spirálový vyhazovač Ø 6x150	10 ks	247 Kč	2 470 Kč
Hlava se zámkem pro vyhazovač d6	10 ks	246 Kč	2 460 Kč
VACUUMJET těsnění Ø 3 mm	1,3 m	247 Kč	321 Kč
Celková cena vybavení			33 329 Kč

$$RN_{4,88\%} = S_o \cdot N_o \cdot \left(1 + \frac{Z_{o1}}{100}\right) = 12\,000 \cdot 7,90 \cdot \left(1 + \frac{4,88}{100}\right) = \mathbf{99\,427\,Kč} \quad (4.3)$$

kde:  $RM_{4,88\%}$  [Kč] Roční náklady na výrobu při zmetkovitosti 4,88 %

$$RN_{1,5\%} = S_k \cdot N_k \cdot \left(1 + \frac{Z_{k2}}{100}\right) = 200\,000 \cdot 4,90 \cdot \left(1 + \frac{1}{100}\right) = \mathbf{96\,222\,Kč} \quad (4.4)$$

kde:  $RM_{1,5\%}$  [Kč] Roční náklady na výrobu při zmetkovitosti 1,5 %

$$RN_{4,88\%} - RN_{1,5\%} = 1\,029\,000 - 989\,800 = \mathbf{3\,205\,Kč}$$

Při snížení počtu zmetkovitosti na 1,5% se roční výrobní náklady snížili z 99 427 Kč (4.3) na 96 222 Kč (4.4) a za rok by tak vznikla úspora 3 205 Kč. Při porovnání této úspory s náklady na vakuový systém v hodnotě 33 329 Kč (zaokrouhleno) lze pozorovat, že k návratu investice by došlo za více než 10 let. Tento výstup už nevypadá tak pozitivně jako u obojku, nicméně zde došlo kromě zlepšení pevnosti, která byla hlavní příčinou označení dílu za zmetek, také k výraznému zlepšení vizuální kvality. Vzhledem k tomu, že se jedná o pohledový díl a zlepšení vizuální kvality je žádané, tak by mohly být pořizovací náklady rozpuštěny do ceny produktu.

## 5 ZÁVĚRY

Kvalita plastových dílů vyráběných technologií vstřikování je ovlivněna mnoha faktory. Jedním z nich je efektivita odvedení vzduchu z uzavřené dutiny formy před nebo v průběhu vstřikování. Odvzdušnění formy může být řešeno v rámci její konstrukce, kdy je vzduch vytlačován tlakem taveniny nebo přídavným systémem, který vzduch z dutiny aktivně vysává. Odvzdušnění řešené konstrukcí formy spočívá ve vytvoření vůle a miniaturních spár, kterými může vzduch unikat. Tyto velmi úzké štěrby se však zanášejí a ucpávají, protože při vstřikování mnohdy neuniká pouze vzduch, ale také zplodiny doprovázející degradaci materiálu. Formu je proto nutné poměrně často čistit tak, aby odvzdušnění fungovalo správně. Pokud je dutina vyčerpávána pomocí aktivních systémů, jako je vakuová jednotka, pak jsou nečistoty chytány ve filtru jednotky a prodlužuje se tak čas mezi nutným čištěním formy.

Z na trhu nabízených vakuových systémů se díky svým malým rozměrům jako nejvhodnější jeví zařízení VACUUMJET španělského výrobce CUMSA. Toto zařízení funguje na principu hydraulického paradoxu. Při zvýšení rychlosti proudícího média se sníží jeho tlak, do tohoto místa je vyveden přívod a vzduch je vysáván snahou o srovnání hodnot tlaků na obou koncích přívodu.

Vliv použití systému VACUUMJET byl ověřován na dvou formách vybavených daným zařízením. První forma sloužila k výrobě reklamních svačinových krabiček a docházelo v ní k tvorbě bublin, které byly použitím systému eliminovány. Na této formě byl posuzován i vliv použití podtlaku na snížení uzavírací síly. Tento vliv ale experiment nepotvrdil. Druhá testovací forma sloužila k výrobě součástí lokalizačních obojků pro psy z termoplastického elastomeru. Zde docházelo k tvorbě velmi nekvalitních studených spojů. Použití vakuového systému přineslo výrazné zlepšení, ale neeliminovalo zcela vizuální projev studených spojů.

Na příkladu výroby série 200 000 kusů krabiček za rok a snížení zmetkovitosti z 5% na 1% byla určena návratnost investice do vakuového systému zhruba na dobu jednoho roku. Při výrobě obojků, kde byla série 12 000 kusů ročně a snížení zmetkovitosti z 4,88% na 1,5% byla návratnost přes deset let. Aplikace systému je tedy hospodárnější na vyšších sériích, nebo jsou-li kladeny vyšší požadavky na kvalitu umožňující zvýšit cenu.



## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [55]

1. TERAJEWICZ, Andrew. Building quantity with quality. *LEGOS* [online]. Stanford [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <https://lego-tenthings.weebly.com/legos--manufacturing.html>
2. The LEGO Group history: Timeline 1940-1949. *LEGO* [online]. [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: [https://www.lego.com/cs-cz/aboutus/lego-group/the\\_lego\\_history/1940](https://www.lego.com/cs-cz/aboutus/lego-group/the_lego_history/1940)
3. *Extruze profilů - Vytvarování plastových profilů do libovolného tvaru* [online]. [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <http://www.extruindustrie.cz/cs/extruze-vytlacovani-plastoveho-profilu.html>
4. *VBF výroba forem: PET* [online]. [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <http://www.vbf.cz/formy>
5. *Arburg: Jistota vedoucího postavení v regionu* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <https://www.arburg.com/cs/cz/kontakt/>
6. *O společnosti* [online]. 2013 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <https://www.cecho.cz/cs/o-spolecnosti>
7. *CECHO Bohumil Cempírek Výrobní areál Polníčka* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://ps-msi.cz/portfolio-items/cecho-bohumil-cempirek-vyrobní-areál-polnicka-2/>
8. MENGES, G a P MOHREN. *How to Make Injection Molds*. 1986
9. KAZMER, David O. *Injection Mold Design Engineering* [online]. 2nd editon. Munchen: Hanser Publishers, 2016 [cit. 2018-04-23]. ISBN 978-1-5231-0587-8. Dostupné z: [https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpIMDEE002/viewerType:toc/root\\_slug:injection-mold-design/url\\_slug:injection-mold-design?b= injection%20mold%20design%20engineering&sort\\_on=default&b-subscription=true&b-groupby=true&b-sort-on=default&b-content-type=all\\_references&scrollto=%20for%20engineering](https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpIMDEE002/viewerType:toc/root_slug:injection-mold-design/url_slug:injection-mold-design?b= injection%20mold%20design%20engineering&sort_on=default&b-subscription=true&b-groupby=true&b-sort-on=default&b-content-type=all_references&scrollto=%20for%20engineering)
10. *Odvzdušnění dutin* [online]. Brno: Svoboda, 2017 [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <https://www.jansvoboda.cz/Odvzdusneni-c8701>
11. SOVA, Miloš a Josef KREBS. *Termoplasty v praxi*. Praha: Verlag Dashöfer, 1999. ISBN 80-86229-15-7.
12. DANGEL, Rainer. *Injection moulds for beginners* [online]. Munchen: Hanser Publishers, 2016 [cit. 2018-04-23]. ISBN 978-1-5231-0585-4. Dostupné z: <https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpIMB00004/viewerType:toc>
13. CAMPO, Alfredo E. *Complete part design handbook: For injection molding thermoplastics* [online]. Munchen: Hanser Publishers, 2006 [cit. 2018-04-23]. ISBN 978-1-60119-152-6. Dostupné z: <https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpCPDHFIM1/viewerType:toc>
14. MENNIG, Günter a Klaus STOECKHERT. *Mold-Making Handbook* [online]. 3rd ed. Munchen: Hanser Publishers, 2013 [cit. 2018-04-19]. ISBN 978-1-68015-483-2. Dostupné z: <https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpMMHE001C/viewerType:toc>

15. REES, Herbert. *Understanding Injection Mold Design* [online]. Munchen: Hanser Publishers, 2001 [cit. 2018-04-19]. ISBN 978-3-446-40183-9. Dostupné z: [https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpUIMD0002/viewerType:toc/root\\_slug:understanding-injection/url\\_slug:understanding-injection?b-q=understanding%20of%20injection%20molds&sort\\_on=default&b-subscription=true&b-group-by=true&b-sort-on=default&b-content-type=all\\_references&scrollto=good%20mold%20desi](https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpUIMD0002/viewerType:toc/root_slug:understanding-injection/url_slug:understanding-injection?b-q=understanding%20of%20injection%20molds&sort_on=default&b-subscription=true&b-group-by=true&b-sort-on=default&b-content-type=all_references&scrollto=good%20mold%20desi)
16. REES, Herbert a Bruce CATOEN. *Selecting injection molds: Weighing cost versus productivity* [online]. Hanser Publishers, 2006 [cit. 2018-04-19]. ISBN 978-1-60119-158-8. Dostupné z: <https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpSIMWCP03/viewerType:toc>
17. PRUNER, Harry a Wolfgang NESCH. *Understanding Injection Molds* [online]. Cincinnati: Hanser Publishers, 2013 [cit. 2018-04-19]. ISBN 978-1-68015-485-6. Dostupné z: [https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpUIM00002/viewerType:toc/root\\_slug:understanding-injection/url\\_slug:understanding-injection?b-q=understanding%20of%20injection%20molds&sort\\_on=default&b-subscription=true&b-group-by=true&b-sort-on=default&b-content-type=all\\_references&scrollto=e%20of%20injection%20mold](https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpUIM00002/viewerType:toc/root_slug:understanding-injection/url_slug:understanding-injection?b-q=understanding%20of%20injection%20molds&sort_on=default&b-subscription=true&b-group-by=true&b-sort-on=default&b-content-type=all_references&scrollto=e%20of%20injection%20mold)
18. KULKARNI, Suhas. *Robust process development and scientific molding: Theory and practise* [online]. 2nd edition. Cincinnati: Hanser Publishers, 2017 [cit. 2018-04-19]. ISBN 978-1-5231-1186-2. Dostupné z: <https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpRPDSMT03/viewerType:toc>
19. SALHANEY, Bob. Your Options for Mold Venting. *Plastics Technology* [online]. 2014, 62-65 [cit. 2018-02-14]. ISSN 00321257. Dostupné z: <http://web.a.ebscohost.com.ezproxy.lib.vutbr.cz/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=ac108283-4a35-4720-82d0-52e8fe7b7db0%40sessionmgr4007>
20. ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce vylisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. Brno: Sekurkon, 2008. ISBN 978-80-86604-36-7.
21. HUGO, Jiří. *Plasty*. Praha: Ústav technického rozvoje a informací, 1980. ISBN P 18-124-205.01.03.
22. PECINA, Pavel a Josef PECINA. *Materiály a technologie - plasty*. Brno: Masarykova univerzita, 2006. ISBN 80-210-4100-5.
23. WOEBCKEN, Wilbrand. *Saechting international plastics handbook: for the technologist, engineer and user*. 3rd ed. Cincinnati: Hanser-Gardner, 1995. ISBN 1-56990-182-1.
24. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 246 s. : il., plány, příklady. ISBN 978-80-7300-250-3.
25. KANDUS, Bohumil. *Technologie zpracování plastů [přednášky]*. Brno: VUT FSI 2017
26. NOVÁK, Jaroslav. *Technologie zpracování plastů [přednášky]*. Brno: ARBURG spol. s.r.o. 29. 3. 2018

27. BRDLÍK, Pavel. *Školení plastikářské výroby* [přednášky]. Liberec: Libeos, s.r.o. 12. 3. 2018
28. KOHOUT, Jan. *Technologie vstřikování plastů* [přednášky]. Liberec: Libeos, s.r.o. 13. 3. 2018
29. VYSOKAJ, Tomáš. *Vstřikování plastů* [přednášky]. Liberec: Libeos, s.r.o. 14. 3. 2018
30. PIDIMA, Pavel. *Školení SELOGICA* [přednášky]. Brno: ARBURG spol. s.r.o. 4. 4. 2018
31. SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. Svitavy: Code Creator, 2016 [cit. 2018-05-20]. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Impresum.html>
32. *Arburg medical technology experts at the Pharmapack Europe 2017* [online]. 05.12.2016 [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: <https://www.arburg.com/en/hk/press/press-releases/bulletin/nI/10413/>
33. GABRIEL, Jiří. *Diplomová práce - simulace plnění dutiny* [elektronická pošta]. Message to: m.rohlinkova@seznam.cz. 11. 5. 2018 10:24 [cit. 2018-05-20]. Osobní komunikace.
34. Flaws and defects. *Parallel design* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [http://www.paralldesign.com/moldability\\_101/flaws\\_and\\_defects.htm](http://www.paralldesign.com/moldability_101/flaws_and_defects.htm)
35. LENFELD, Petr. *Vstřikování plastů. Technologie II* [online]. Liberec [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/04.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm)
36. BOLUR, Prabodh C. *Weld line in moulding* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.pitfallsinmolding.com/weldlinepage.html>
37. NEUHÄSL, Emil. *Vady výstřiků – 4. díl: Vady vzhledové a jejich kontrola. MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010, (7), 56-57 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-4-dil-vady-vzhledove-a-jejich-kontrola.html>
38. *In Pursuit Of The Perfect Injection Moulded Part: Weld Lines* [online]. 1.2.2018 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.patterson-rothwell.co.uk/in-pursuit-of-the-perfect-injection-moulded-part-weld-lines/>
39. *Troubleshooting Short Shots In Injection Molding Increases Production Performance. Improve-your-injection-molding.com: make more with less* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.improve-your-injection-molding.com/troubleshooting-short-shots.html>
40. *Mold Vac* [online]. Batavia [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://moldvac.com/index.html>
41. *Vacuum Pump Unit. MSK Signapore: Total solution for cost savings and higher production yield* [online]. 2011 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <http://mskpl.com.sg/vacuum-pump-unit.html>

42. *In-cylinder vacuum pasticizing device* [VACMELTOR]. MEIKI CO.,LTD.: pioneer of injection molding machinery [online]. 2006 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <http://www.meiki-ss.co.jp/eng/mac/oth05.html>
43. *CUMSA: Innovative solutions for your molds*. Barcelona, 2017.
44. DRÁBKOVÁ, Sylva a Milada KOZUBKOVÁ. *Cvičení z mechaniky tekutin*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2002. ISBN 80-248-0039-X.
45. SLAVÍČEK, Pavel. *Vakuová fyzika I* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/1431/jaro2010/F4160/um/vakuum1-uvod.pdf>
46. *Název dílu: Obojek GPS kabel: Koncept formy: N160052*. Polníčka: CECHO - BOHUMIL CEMPÍREK s.r.o., 2015. 7 s.
47. *DOG GPS X20* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.dogtrace.com/dog-gps-x20>
48. ALLROUNDER 470 C GOLDEN EDITION. Lossburg: ARBURG GmbH + Co KG, 2014, 6 s.
49. *CUMSA: VACUUMJET - UŽIVATELKSÝ MANUÁL*. Barcelona: CUMSA, 40 s.
50. *This is the free Material Data Center Datasheet of Moplen RP248R - PP - LyondellBasell Industries. Material Data Center* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.materialdatacenter.com/ms/en/Moplen/LyondellBasell+Industries/Moplen+RP248R/8523d765/322>
51. Allrounder 420 C 1000-350. Lossburg: ARBURG GmbH + Co KG, 1997, 6 s.
52. DUCHÁČEK, Vratislav. Termoplastické elastomery: Moderní polymerní materiály. *Chemické listy*. 1997, (91), 23-29. Dostupné také z: [http://w.chemicke-listy.cz/docs/full/1997\\_01\\_23-29.pdf](http://w.chemicke-listy.cz/docs/full/1997_01_23-29.pdf)
53. Termoplastické elastomery TPE. *MG PLASTICS s.r.o.* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.tpe.mgplastics.cz/clanky/28/produkty/>
54. This is the free Material Data Center Datasheet of Elastron V101.A65.B - TPV - Elastron Kimya A.S. *Materia Data Center* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.materialdatacenter.com/ms/en/Elastron%20V/Elastron+Kimya+A%252ES%252E+/Elastron+V101%252EA65%252EB/df9eb4d6/5447>
55. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2013 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
EPDM	etylen-propylen-dienový kaučuk	
$F_u$	uzavírací síla	[kN]
$F_{uk}$	uzavírací síla - díl krabice	[kN]
$G_1$	hmotnost vzduchu v dutině	[kg]
$G_{1k}$	hmotnost vzduchu v dutině - díl krabice	[kg]
$G_{1o}$	hmotnost vzduchu v dutině - díl obojek	[kg]
ITT	index toku taveniny	[g.10 min <sup>-1</sup> ]
LSR	silikonové pryže (liquid silicon rubber)	
L/D	pracovní délka šneku	
$N_k$	náklady na výrobu jednoho kusu - díl krabice	[Kč]
$N_o$	náklady na výrobu jednoho kusu - díl obojek	[Kč]
PA	polyamid	
POM	polyoxymetylen	
PP	polypropylen	
PS	polystyren	
PVC	polyvinylchlorid	
$n$	polytropický exponent	[-]
$p_1$	tlak vzduchu v dutině (atmosférický tlak)	[MPa]
$p_2$	tlak vzduchu stlačeného taveninou	[MPa]
$p_{2k}$	tlak vzduchu po kompresi	[MPa]
$p_{atm}$	atmosférický tlak	[bar]
$p_i$	maximální tlak v dutině formy	[MPa]
$p_{pře}$	přetlak	[bar]
$p_{pod}$	podtlak	[bar]
$p_d$	dotlak	[MPa]
$p_p$	tlak při přepnutí	[MPa]
$p_t$	tvářecí tlak	[MPa]
$p_{v1}$	tlak ve venturiho trubici v bodě 1	[bar]
$p_{v2}$	tlak ve venturiho trubici bodě 2	[bar]
$p_v$	vstřikovací tlak	[MPa]
$p_{vmax}$	maximální vstřikovací tlak	[MPa]
$RM_{1\%}$	roční náklady na výrobu při zmetkovitosti 1 %	[Kč]
$RM_{1,5\%}$	roční náklady na výrobu při zmetkovitosti 1,5 %	[Kč]
$RM_{4,88\%}$	roční náklady na výrobu při zmetkovitosti 4,88 %	[Kč]
$RM_{5\%}$	roční náklady na výrobu při zmetkovitosti 5 %	[Kč]
$r_{dp}$	rádius zaoblení dolní poloviny	[mm]
$r_{hp}$	rádius zaoblení horní poloviny	[mm]
$S$	plocha odvzdušňovací štěrby	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{Ak}$	plocha odvzdušňovací štěrby dle anglického vzorce - díl krabice	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{CZk}$	plocha odvzdušňovací štěrby dle českého vzorce - díl krabice	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{Ao}$	plocha odvzdušňovací štěrby dle anglického vzorce - díl obojek	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{CZo}$	plocha odvzdušňovací štěrby dle českého vzorce - díl obojek	[mm <sup>2</sup> ]
$S_p$	průmětná plocha dílu	[mm <sup>2</sup> ]
$S_k$	velikost výrobní série - díl krabice	[ks.rok <sup>-1</sup> ]
$S_o$	velikost výrobní série - díl obojek	[ks.rok <sup>-1</sup> ]
$S_{v1}$	plocha venturiho trubice v bodě 1	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{v2}$	plocha venturiho trubice v bodě 2	[mm <sup>2</sup> ]
$\bar{S}_{Ak}$	šířka odvzdušňovací drážky dle anglického vzorce - díl krabice	[mm]
$\bar{S}_{Ao}$	šířka odvzdušňovací drážky dle anglického vzorce - díl obojek	[mm]
$\bar{S}_{CZk}$	šířka odvzdušňovací drážky dle českého vzorce - díl krabice	[mm]
$\bar{S}_{CZo}$	šířka odvzdušňovací drážky dle českého vzorce - díl obojek	[mm]



$\bar{s}_{dp}$	šířka dolní poloviny	[mm]
$\bar{s}_{hp}$	šířka horní poloviny	[mm]
$\bar{s}_m$	šířka mostku	[mm]
$T$	teplota	[°C]
THV	tryska horkého vtoku	
TPE	termoplastický elastomer	
$T_f$	teplota formy	[°C]
$T_o$	Teplota odformování	[°C]
$T_t$	teplota taveniny	[°C]
$T_2$	teplota vzduchu stlačeného taveninou	[°C]
$T_v$	teplota vzduchu ve formě	[°C]
$t_v$	doba vstřikování	[s]
$t_{vk}$	doba vstřikování - díl krabička	[s]
$t_{vo}$	doba vstřikování - díl obojek	[s]
$V_1$	objem vzduchu v systému	[mm <sup>3</sup> ]
$V_{2k}$	objem vzduchu po kompresi	[mm <sup>3</sup> ]
$V_d$	objem tvarové dutiny	[mm <sup>3</sup> ]
$V_{dk}$	objem tvarové dutiny - díl krabička	[mm <sup>3</sup> ]
$V_{do}$	objem tvarové dutiny - díl obojek	[mm <sup>3</sup> ]
$V_{ok}$	objem kanálků pro odvod vzduchu	[mm <sup>3</sup> ]
$V_{vo}$	objem vtokové soustavy- díl obojek	[mm <sup>3</sup> ]
$V_v$	doba vstřikování	[mm <sup>3</sup> ]
$V$	průtok vzduchu z dutiny formy	[mm <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
$V_k$	průtok vzduchu z dutiny formy - díl krabička	[mm <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
$V_o$	průtok vzduchu z dutiny formy - díl obojek	[mm <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
$v_{dp}$	výška horní poloviny	[mm]
$v_{hp}$	výška dolní poloviny	[mm]
$v_k$	maximální výška drážky - díl krabička	[mm]
$v_m$	výška mostku	[mm]
$v_o$	maximální výška drážky - díl obojek	[mm]
$v_s$	vstřikovací rychlost	[mm.s <sup>-1</sup> ]
$v_{v1}$	rychlost proudění ve venturiho trubici v bodě 1	[mm.s <sup>-1</sup> ]
$v_{v2}$	rychlost proudění ve venturiho trubici v bodě 2	[mm.s <sup>-1</sup> ]
$Z_{k1}$	původní zmetkovitost - díl krabička	[%]
$Z_{k2}$	zmetkovitost po optimalizaci - díl krabička	[%]
$Z_{o1}$	původní zmetkovitost - díl obojek	[%]
$Z_{o2}$	zmetkovitost po optimalizaci - díl obojek	[%]
$\gamma$	měrná hmotnost vzduchu	[kg.m <sup>-3</sup> ]
$\gamma$	dynamická viskozita	[s <sup>-1</sup> ]
$\eta$	efektivní přetvoření	[Pa.s <sup>-1</sup> ]
$\rho$	hustota	g.cm <sup>-3</sup>
$\kappa$	poissonova konstanta	[-]

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Vstřikovací forma na lego kostky [1] .....	9
Obr. 2 Vstřikovaná lego kostka [2] .....	9
Obr. 3 Profily vyráběné vytlačováním [3] .....	9
Obr. 4 Forma na vyfukování lahví [4].....	9
Obr. 5 Řešený díl - krabička.....	10
Obr. 6 Sídlo brněnské pobočky Arburg [5].....	10
Obr. 7 Řešený díl - obojek .....	10
Obr. 8 Sídlo firmy CECHO [7] .....	10
Obr. 9 Odvzdušňovací kanálek [8].....	11
Obr. 10 Sbroušení vyhazovače [9] .....	11
Obr. 11 Odvzdušnění svazkem lamel [8] .....	11
Obr. 12 Slinovaná vložka s otvory [9] .....	12
Obr. 13 Dynamický ventil[10] .....	12
Obr. 14 Vakuově odvzdušněná forma [8] .....	12
Obr. 15 Polymerace polyetyleny [20] .....	13
Obr. 16 Toková křivka polymerního materiálu [24] .....	14
Obr. 17 Schéma vstřikování [24] .....	15
Obr. 18 Tlakový průběh vstřikování [24].....	15
Obr. 19 Pohyby stroje a nástroje při vstřikování [31] .....	16
Obr. 20 Vstřikovací stroj[32] .....	17
Obr. 21 Vstřikovací forma .....	18
Obr. 22 Ukázka ruční metody zobrazení toku [8].....	20
Obr. 23 Ukázka moderní počítačové simulace v programu cadmould [33].....	20
Obr. 24 Spálené místo .....	21
Obr. 25 Přetoky na dílu .....	21
Obr. 26 Nedostříknutý díl.....	21
Obr. 27 Bubliny v dílu.....	21
Obr. 28 Šlírovitost .....	21
Obr. 29 Studený spoj .....	21
Obr. 30 Spálenina v posledním bodě plnění [34] .....	22
Obr. 31 Materiál spálený v trysce .....	22
Obr. 32 Fontánový tok taveniny [35] .....	23
Obr. 33 Vznik studeného spoje[36].....	23
Obr. 34 Studený spoj .....	23
Obr. 35 Studený spoj na transparentním dílu [35] .....	23
Obr. 36 Bubliny v dílu.....	24
Obr. 37 Nedostříknutý díl.....	24
Obr. 38 Systém Mold-Vac [40].....	24
Obr. 39 Aplikace jednotky [43].....	24
Obr. 40 Jednotka VACUUMJET [43].....	25
Obr. 41 Princip nasávání vzduchu skrze Venturiho trubici [44].....	25
Obr. 42 Model dílu svačínová krabička .....	26
Obr. 43 Příklad aplikace dílu.....	26
Obr. 44 Model dílu GPS obojek [46] .....	27
Obr. 45 Aplikace řešeného dílu [47] .....	27
Obr. 46 Vývojový diagram experimentu.....	28
Obr. 47 Vývojový diagram - vliv na uzavírací sílu .....	29
Obr. 48 Parametry simulace plnění dutiny [33]. .....	29

Obr. 49 Uzavření vzduchu ve vnitřním žeburu horní poloviny krabičky [33].....	30
Obr. 50 Poslední bod plnění v zámku krabičky [33].....	30
Obr. 51 Použitý vstřikovací stroj.....	31
Obr. 52 Pohled do otevřené formy .....	32
Obr. 53 Pohyblivá polovina formy.....	32
Obr. 54 Připojení vakuové jednotky .....	32
Obr. 55 AUTOMATIC VACUUMJET 40 [49].....	33
Obr. 56 Rozměrový náčrtek průmětu dílu do dělicí roviny .....	35
Obr. 57 Popsaná sekvence stroje (s vakuací) .....	36
Obr. 58 Sekvence suchého cyklu (bez vakuace) .....	36
Obr. 59 Zóny topení válce.....	37
Obr. 60 Profil vstřikování.....	37
Obr. 61 Profil dotlaku.....	37
Obr. 62 Celkový pohled - díl sady 1 .....	38
Obr. 63 Celkový pohled - díl sady 2 .....	38
Obr. 64 Detail zámku - díl sady 1 .....	38
Obr. 65 Detail zámku - díl sady 2 .....	38
Obr. 66 Detail zámku - díl sady 3 .....	39
Obr. 67 Detail zámku - díl sady 4 .....	39
Obr. 68 Srovnání dílů sady 3 a sady 4.....	39
Obr. 69 Detail zámku - díl sady 5 .....	40
Obr. 70 Detail zámku - díl sady 6 .....	40
Obr. 71 Detail zámku - díl sady 7 .....	40
Obr. 72 Detail zámku - díl sady 8 .....	40
Obr. 73 Vznik studeného spoje ve středu dílu [46].....	41
Obr. 74 Vznik studeného spoje na levém okraji dílu [46] .....	41
Obr. 75 Použitý vstřikovací stroj.....	42
Obr. 76 Pohled do otevřené formy .....	43
Obr. 77 Model pohyblivé poloviny formy s popisem [46] .....	43
Obr. 78 Struktura termoplastického elastomeru [53] .....	44
Obr. 79 Popsaná sekvence stroje (s vakuací ) .....	46
Obr. 80 Sekvence suchého cyklu (bez vakuace) .....	46
Obr. 81 Zóny topení válce.....	46
Obr. 82 Profil vstřikování.....	47
Obr. 83 Profil dotlaku.....	47
Obr. 84 Celkový pohled - díl sady 9 .....	48
Obr. 85 Celkový pohled - díl sady 10 .....	48
Obr. 86 Detail střední části - díl sady 9 .....	48
Obr. 87 Detail střední části - díl sady 10.....	48
Obr. 88 Detail levého kraje - díl sady 9 .....	49
Obr. 89 Detail levého kraje- díl sady 10 .....	49
Obr. 90 Detail pravého kraje - díl sady 9 .....	49
Obr. 91 Detail pravého kraje - díl sady 10 .....	49
Obr. 92 Systém odvodu vzdušných kanálků .....	50
Obr. 93 Celkový pohled na model formy.....	51
Obr. 94 Řez formou - přívod a odvod vzduchu.....	51
Obr. 95 Řez formou - ovládání pístu.....	51
Obr. 96 Řez formou - umístění pístu a ventilu.....	52
Obr. 97 Detail řezu - odsávání z drážky.....	52

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Maximální odvzdušňovací mezera v závislosti na tekutosti polymerů. [26].....	18
Tab. 2 Rozdělení pásem vakua. [45] .....	25
Tab. 3 Technická data stroje [48] .....	31
Tab. 4 Doporučené zpracovatelské hodnoty a parametry použitého materiálu [50].....	33
Tab. 5 Topení válce .....	37
Tab. 6 Profil plnění.....	37
Tab. 7 Hodnoty dotlaku.....	37
Tab. 8 Naměřené hodnoty tlaku a času. ....	38
Tab. 9. Technická data stroje [51] .....	42
Tab. 10 Doporučené zpracovatelské hodnoty a parametry materiálu Elastron V101.A65.B [54]. ....	44
Tab. 11 Topení válce. ....	46
Tab. 12 Profil plnění.....	47
Tab. 13 Hodnoty dotlaku.....	47
Tab. 14 Naměřené hodnoty tlaku a času. ....	47
Tab. 15 Vstupní parametry - díl krabička.....	53
Tab. 16 Shrnutí pořizovacích nákladů na vakuový systém - díl krabička.....	53
Tab. 17 Vstupní parametry - díl obojek .....	54
Tab. 18 Shrnutí pořizovacích nákladů na vakuový systém - díl obojek .....	54

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Doporučené hodnoty výšky odvzdušňovacích elementů [8], [11], [13], [14]
Příloha 2	Technický list stroje ALLROUNDER 470 C GOLDEN EDITION [48]
Příloha 3	Materiálový list polymeru Moplen RP 248 [50]
Příloha 4	Technický list stroje ALLROUNDER 470 C GOLDEN EDITION [51]
Příloha 5	Materiálový list polymeru Elastron V101.A65.B [54]

## SEZNAM VÝKRESŮ

Svacinový box - forma	DP-01-20150525
Deska	DP-02-20150525
Tvarník	DP-03-20150525
Rameček	DP-04-20150525

**Příloha 1** Doporučené hodnoty výšky odvzdušňovacích elementů [8], [11], [13],[14]

Tab. 1 Doporučené hodnoty výšky odvzdušňovacích elementů [8].

Crystalline thermoplastics:	0.015 mm,
PP, PA, GF-PA, POM, PE	
amorphous thermoplastics:	0.03 mm,
PS, ABS, PC, PMMA	
for extremely fluid materials	0.003 mm.

Tab. 2 Doporučené hodnoty výšky odvzdušňovacích elementů[11].

Plast	Mezera [mm]
PS, ABS	do 0,05
PE, PP	do 0,04
PA	0,02 až 0,03
PPO	do 0,04
PBT	do 0,03
PC	do 0,05
POM	do 0,05
sklem plněné	0,05 až 0,08
strukturní pěny	do 0,1

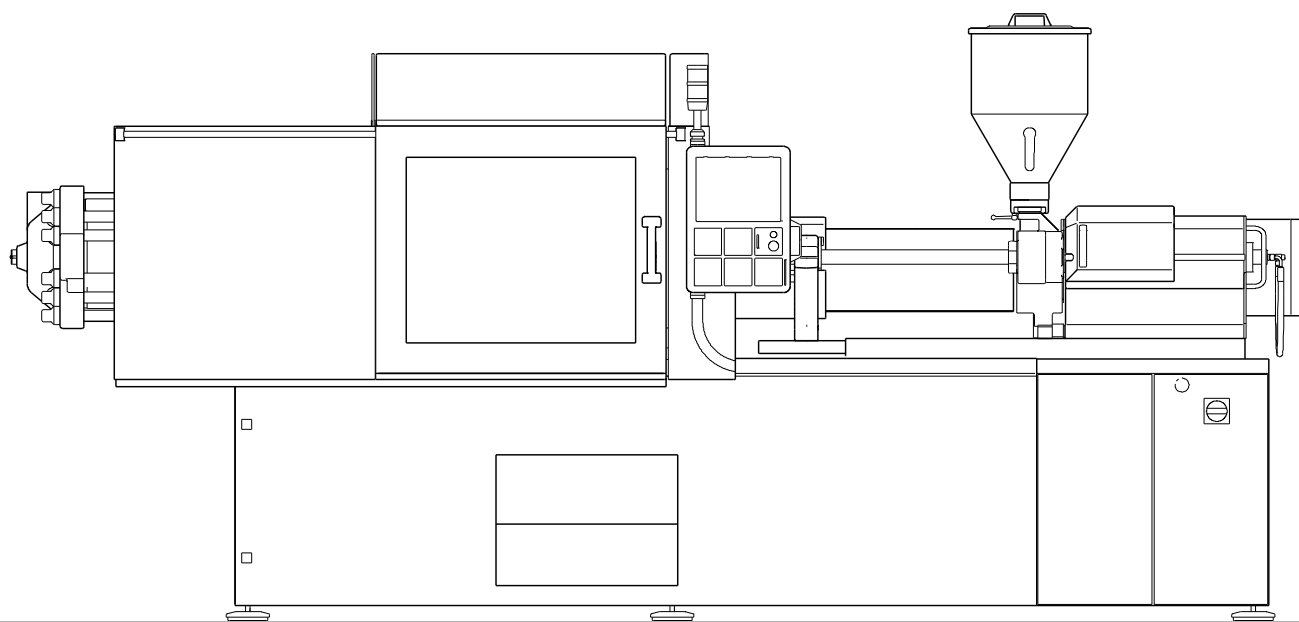
Tab. 3 Doporučené hodnoty výšky odvzdušňovacích elementů (v palcích) [14].

Material	Cold Runner Depth	Component Depth
Nylon	0.0005/0.0007	0.0003/0.0005
Acetyl	0.0010/0.0013	0.0005/0.0007
Glass-filled nylon	0.0005/0.0015	0.0005/0.0007
Valox PBT	0.0005/0.0015	0.0005/0.0007
Polypropylene	0.0010/0.0020	0.0007/0.0010
Polyethylene	0.0010/0.0020	0.0007/0.0010
Polystyrene	0.0010/0.0020	0.0007/0.0010
ABS	0.0020/0.0030	0.0010/0.0015
SAN	0.0020/0.0030	0.0010/0.0015
Acrylic	0.0020/0.0030	0.0015/0.0020
Polycarbonate	0.0015/0.0030	0.0015/0.0020
Thermoplastic rubber	0.0010/0.0015	0.0005/0.0007

Tab. 4 Doporučené hodnoty výšky odvzdušňovacích elementů (v palcích)[13].

Land depth "H" (in)	Resin
0.0015–0.0025	Acetal
0.0025–0.0035	ABS
0.0025–0.0035	Acrylic
0.0010–0.0015	Nylon Unfilled
0.0015–0.0020	Nylon Glass R.
0.0015–0.0025	Nylon Mineral R.
0.0010–0.0015	LCP Glass R.
0.0020–0.0035	PC
0.0015–0.0025	PE
0.0015–0.0025	PP
0.0015–0.0025	PS
0.0015–0.0035	PPO
0.0015–0.0025	PSU
0.0015–0.0020	PET Glass R.
0.0015–0.0035	PVC Ridged
0.0015–0.0025	PVC Flexible





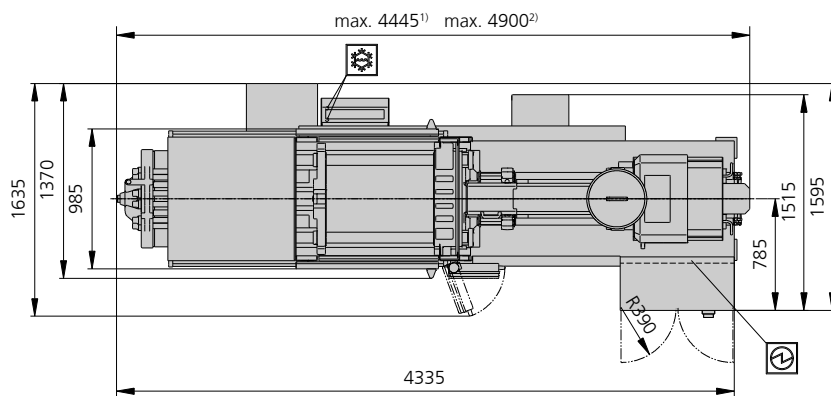
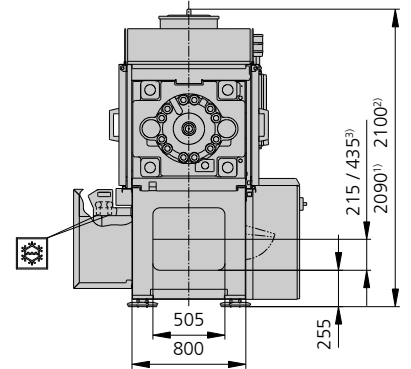
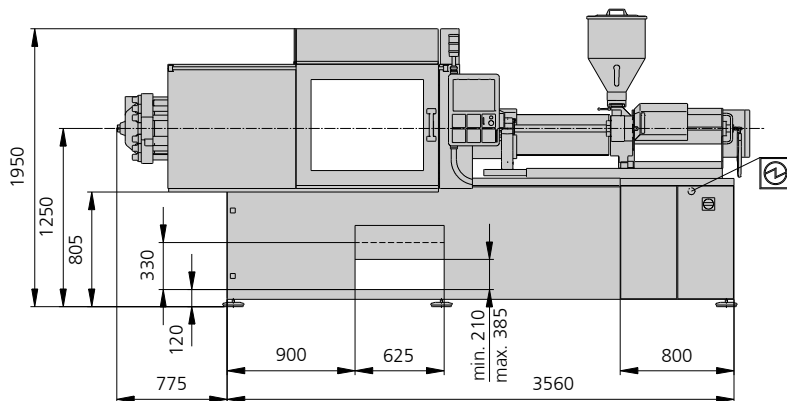
# ALLROUNDER 470 C GOLDEN EDITION

Distance between tie bars: 470 x 470 mm

Clamping force: 1500 kN

Injection unit (acc. to EUROMAP): 400, 800

**ARBURG**



### Electrical connection



Cooling water connection

- 1) Injection unit 400
- 2) Injection unit 800
- 3) Conveyor belt

Clamping unit		470 C GOLDEN EDITION	
with clamping force	max. kN	1500	
Opening force   stroke	max. kN   mm	350   500	
Mould height, fixed   variable	min. mm	250   ---	
Platen daylight fixed   variable	max. mm	750   ---	
Distance between tie bars (w x h)	mm	470 x 470	
Mould mounting platens (w x h)	max. mm	650 x 650	
Weight of movable mould half	max. kg	800	
Ejector force   stroke	max. kN   mm	40   175	
Dry cycle time EUROMAP <sup>2</sup>	min. s - mm	1,8 - 329	

Injection unit		400			800			
with screw diameter	mm	35	40	45	45	50	55	
Effective screw length	L/D	23	20	18	22	20	18	
Screw stroke	max. mm	160			200			
Calculated stroke volume	max. cm <sup>3</sup>	154	201	254	318	392	474	
Shot weight	max. g PS	141	184	232	291	359	434	
Material throughput	max. kg/h PS	25	29	35	46	53	59	
	max. kg/h PA6.6	12,5	15	17,5	23	27	30	
Injection pressure	max. bar	2500	2000	1580	2470	2000	1650	
Holding pressure	max. bar	2500	2000	1580	2470	2000	1650	
Injection flow <sup>2</sup>	max. cm <sup>3</sup> /s	128	168	212	174	214	260	
Screw circumferential speed <sup>2</sup>	max. m/min	47	53	60	54	60	66	
Screw torque	max. Nm	480	550	610	880			
Nozzle contact force   retraction stroke	max. kN   mm	60   300			70   400			
Heating capacity   zones	kW	9,4   5			19,9   8			
Feed hopper	l	50			50			

Drive and connection		2 pumps		
with injection unit		400	800	
Net weight of machine	kg	4850	5200	
Sound press. level   Insecurity <sup>4</sup>	dB(A)	69   3		
Oil filling	l	235		
Drive power <sup>2</sup>	max. kW	18,5	22	
Electrical connection <sup>3</sup>	kW	30	44	
	Total	80	100	
	Machine	---	---	
	Heating	---	---	
Cooling water connection	max. °C	30		
	min. Δp bar	1,5   DN 25		

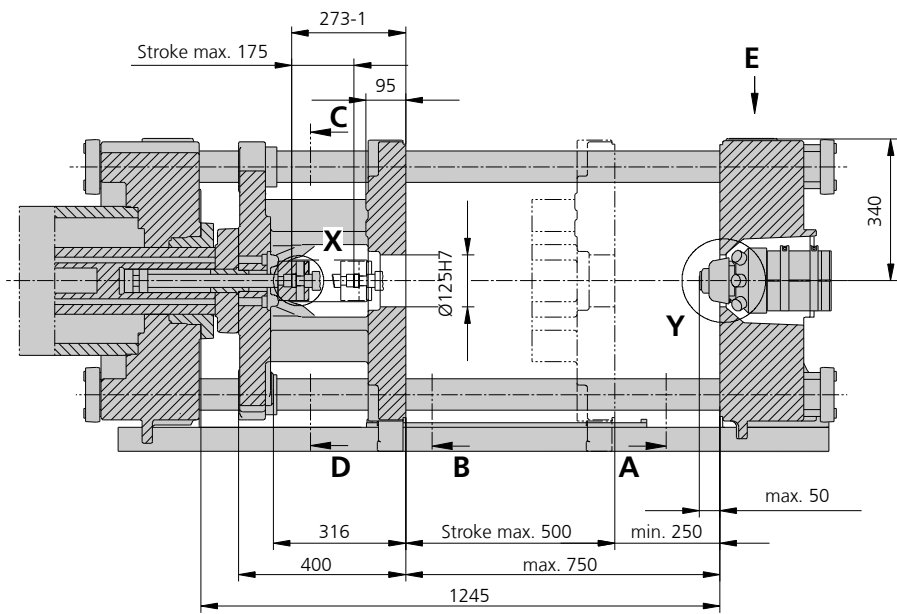
## Machine type

with EUROMAP size designation <sup>1</sup>

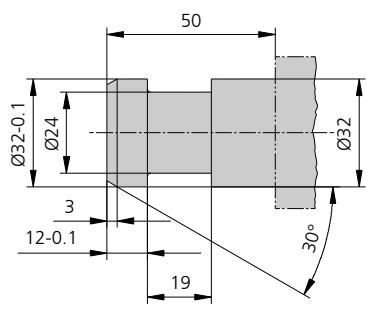
470 C GOLDEN EDITION 1500-400 | 800

All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure and max. injection flow may be mutually exclusive.

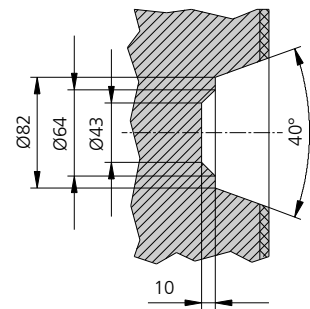
- 1) Clamping force (kN) - large injection unit = max. stroke volume (cm<sup>3</sup>) x max. injection pressure (kbar)
  - 2) Specifications depend on the drive variant / drive configuration.
  - 3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.
  - 4) Detailed info in the operating instr.
- [ ] Specifications apply to alternative equipment.



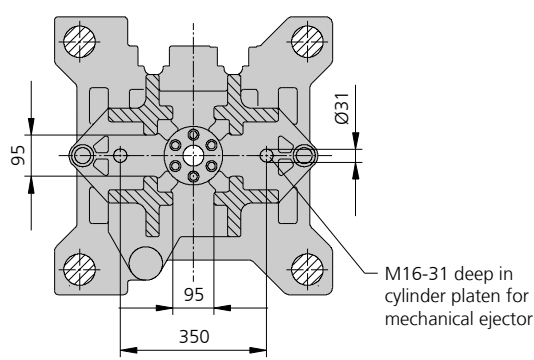
Ejector bolt | X



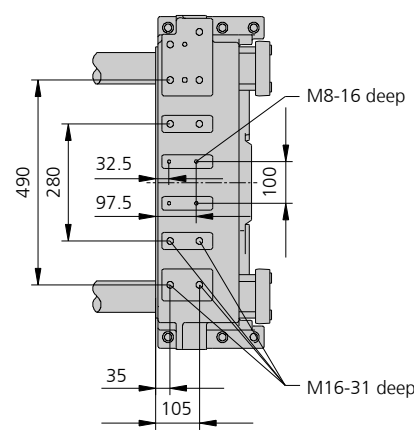
Bore in mould (if required) | Y



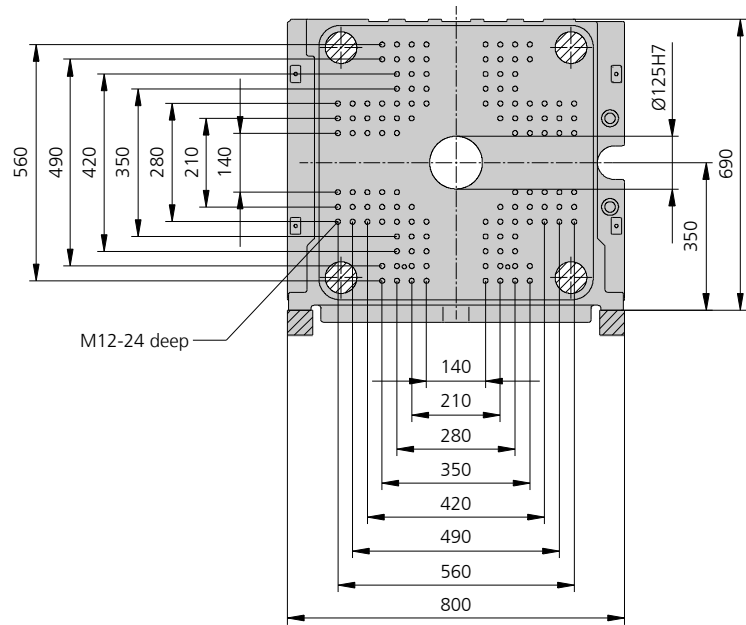
C-D view



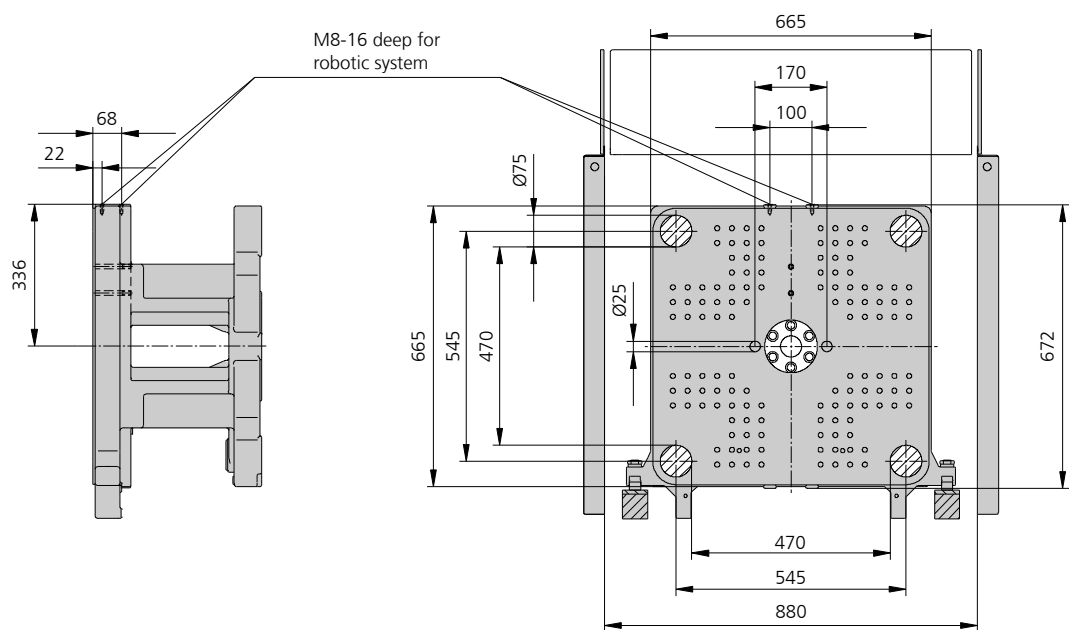
Robotic system mounting | E



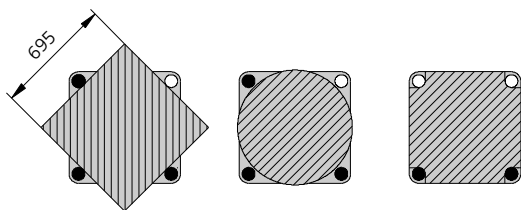
Fixed mould mounting platen | A



Moving mould mounting platen | B



Useful clamping surface when pulling the tie rods



## Theoretical shot weights for the most important injection moulding materials

Injection units according to EUROMAP		400			800		
Screw diameter	mm	35	40	45	45	50	55
Polystyrene	max. g PS	141	184	232	291	359	434
Styrene heteropolymerizates	max. g SB	137	179	227	284	350	424
	max. g SAN, ABS <sup>1)</sup>	135	176	223	278	344	416
Cellulose acetate	max. g CA <sup>1)</sup>	158	207	262	327	404	488
Celluloseacetobutyrate	max. g CAB <sup>1)</sup>	147	192	243	304	375	454
Polymethyl methacrylate	max. g PMMA	145	190	240	300	371	449
Polyphenylene ether, mod.	max. g PPE	131	171	216	270	333	403
Polycarbonate	max. g PC	148	193	244	305	377	456
Polysulphone	max. g PSU	153	199	252	316	390	471
Polyamides	max. g PA 6.6   PA 6 <sup>1)</sup>	140	183	231	289	357	431
	max. g PA 6.10   PA 11 <sup>1)</sup>	131	171	216	270	333	403
Polyoximethylene (Polyacetal)	max. g POM	174	227	287	359	443	536
Polyethylene terephthalate	max. g PET	167	219	277	346	427	517
Polyethylene	max. g PE-LD	106	139	176	219	271	328
	max. g PE-HD	110	143	181	227	280	339
Polypropylene	max. g PP	112	146	185	232	286	346
Fluoropolymerides	max. g FEP, PFA, PCTFE <sup>1)</sup>	225	294	372	465	574	695
	max. g ETFE	196	256	324	408	504	609
Polyvinyl chloride	max. g PVC-U	170	222	281	351	434	525
	max. g PVC-P <sup>1)</sup>	157	205	260	324	401	485

1) average value

## ARBURG GmbH + Co KG

Arthur-Hehl-Strasse · 72290 Lossburg · Tel.: +49 7446 33-0 · www.arburg.com · E-Mail: contact@arburg.com

**With locations in Europe:** Germany, Belgium, Denmark, France, United Kingdom, Italy, Netherlands, Austria, Poland, Switzerland, Slovakia, Spain, Czech Republic, Turkey, Hungary | **Asia:** People's Republic of China, Indonesia, Malaysia, Singapore, Taiwan, Thailand, United Arab Emirates | **America:** Brazil, Mexico, USA

For more information, please go to **www.arburg.com**.

© 2016 ARBURG GmbH + Co KG

The brochure is protected by copyright. Any utilisation, which is not expressly permitted under copyright legislation, requires the previous approval of ARBURG.

All data and technical information have been compiled with great care. However we accept no responsibility for correctness. Individual illustrations and information may deviate from the actual delivery condition of the machine. The relevant valid operating instructions are applicable for the installation and operation of the machine.



ARBURG GmbH + Co KG

DIN EN ISO 9001 + 14001 + 50001 certified

**BLUECOMPETENCE**  
 Alliance Member

 Partner of the Engineering Industry  
 Sustainability Initiative



**Moplen RP248R**

Polypropylene, Random Copolymer

**Product Description**

*Moplen RP248R* is a random copolymer with good fluidity used in injection moulding applications.

*Moplen RP248R* is clarified and contains antistatic additivation. It exhibits a very high transparency combined with a very good impact strength, even at 0°C.

*Moplen RP248R* is typically used by customers in housewares and thin walled containers with high impact strength requirements.

<b>Status</b>	Commercial: Active
<b>Availability</b>	Africa-Middle East; Europe
<b>Application</b>	Clear Containers; Housewares; Sports, Leisure & Toys
<b>Market</b>	Consumer Products; Rigid Packaging
<b>Processing Method</b>	Injection Molding
<b>Attribute</b>	High Transparency; Medium Impact Resistance; Nucleated; Random Copolymer

Typical Properties	Nominal Value	Units	Test Method
<b>Physical</b>			
Melt Flow Rate, (230 °C/2.16 kg)	30	g/10 min	ISO 1133-1
Density, (23 °C)	0.90	g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183-1
<b>Mechanical</b>			
Tensile Modulus	800	MPa	ISO 527-1, -2
Tensile Stress at Yield	22	MPa	ISO 527-1, -2
Tensile Strain at Break	>50	%	ISO 527-1, -2
Tensile Strain at Yield	10	%	ISO 527-1, -2
<b>Impact</b>			
Charpy Impact Strength - Notched			
(23 °C, Type 1, Edgewise, Notch A)	6.5	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179
(0 °C, Type 1, Edgewise, Notch A)	3.5	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179
<b>Thermal</b>			
Vicat Softening Temperature, (A50)	120	°C	ISO 306
Heat Deflection Temperature B, (0.45 MPa, Unannealed)	60	°C	ISO 75B-1, -2
<b>Optical</b>			
Haze, (1 mm - injection molded disc)	10	%	ASTM D1003

## 1.1 Getting to Know Your ALLROUNDER®

### 1.1.1 ALLROUNDER® with DIALOGICA® Control Data Sheet

#### 420 C Technical Data

Machine type:		420 C 1000-350
International size: <sup>1) 5)</sup>		1000-350
<b>Clamping Unit</b>		
Closing force	max. kN	1000
Mould protection force	max. kN	50/500
Opening force/Increased opening force	max. kN	35/250
Opening stroke	max. mm	500
Mould height	min. mm	250
Clamping platen daylight	max. mm	750
Tie-bar daylight	mm	420x420
Mould clamping platens (b x h)	mm	545/545
Mould diameter	max. mm	610
Movable mould half weight	max. kg	600
Ejector force	max. kN	40
Ejector stroke	max. mm	175
<b>Injection Unit</b>		
Screw diameter	mm	35/40/45
Screw length	L/D	23/20/18
Screw stroke	max. mm	145
Stroke volume	max. cm <sup>3</sup>	139/182/230
Injected part weight	<sup>3)</sup> max. g/PS	117/153/194
Injection pressure	<sup>5)</sup> max. bar	2550/2000/1600
Injection flow	<sup>5)</sup> max. cm <sup>3</sup> /s	130/170/215
	<sup>6)</sup> max. cm <sup>3</sup> /s	500/600/800
Back pressure	max. bar	350
Screw speed	max. m/min.	46/52/58
Screw torque	max. Nm	560/640/720
Nozzle contact force	max. kN	50
Nozzle retraction stroke	max. mm	300
Cylinder and nozzle heating	KW	4x2000+600
Heating zone count		4+1
Feed hopper capacity	l	50
<b>Hydraulics, Drive, General</b>		
Pump motor	kW	22
Dry cycle time	<sup>4)</sup> s	
Total installed load	<sup>2)</sup> kW	31
Colour: Plastic coated, structure green RAL 6011		
<b>Control Cabinet</b>		
Safety standards according to		DIN VDE 0113
Single phase socket		1 x 10 A
Three phase socket		1 x 16 A

- <sup>1</sup> 1st figure: closing force (kN)  
2nd figure: max. stroke volume (cm<sup>3</sup>) x max. injection pressure (kbar)  
with 380 or 220 V three phase, 50 Hz
- <sup>2</sup> calculated with fill factor = 0,8
- <sup>3</sup> according to Euromap
- <sup>4</sup> see injection performance diagram
- <sup>5</sup> injection values with accumulator

Machine Type		420 C 1300-350	420 C 1300-675
EUROMAP Size <sup>1)</sup>		1300-350	1300-675
<b>Clamping Unit</b>			
Clamping force	max.kN		1300
Closing force	max.kN		50
Opening force / increased	max.kN		35/350
Opening stroke	max.mm		500
Mould height	min.mm		250
Clamping platen daylight	max.mm		750
Tie-bar daylight	mm		420x420
Mould clamping platens (b x h)	mm		615x615
Movable mould half weight	max.kg		600
Ejector force	max.kN		40
Ejector stroke	max.mm		175
<b>Hydraulics, Drive, General</b>			
Drive capacity of the hydraulic pump	kW	22	30
Dry cycle time	<sup>4)</sup> s-mm	2,6-294	2,5-294
Total installed load	<sup>2)</sup> kW	31,8	44,2
Colour: Plastic coated, structure green RAL 6011			
<b>Control Cabinet</b>			
Safety standards according to			DIN EN 60204
Single phase socket			1 x 10 A
Three phase socket			1 x 16 A
<b>Injection Unit</b>			
Screw diameter	mm	35/40/45	45/50/55/60
Effective screw length	L/D	23/20/18	22/20/18/16,5
Screw stroke	max. mm	145	180
Theoretical stroke volume	max.cm <sup>3</sup>	139/182/230	286/353/427/508
Injected part weight	<sup>3)</sup> max.g/PS	117/153/194	240/297/360/427
Injection pressure	<sup>5)</sup> max.bar	2500/2050/1650	2500/2050/1700/1400
Injection flow	<sup>5)</sup> max.cm <sup>3</sup> /s	130/170/215	170/215/260/310
Injection flow with accumulator	max.cm <sup>3</sup> /s	500/600/800	
Back pressure positive / negative	max.bar	350/100	350/200
Screw speed	max.m/min	56/64/72	60/66/75/80
Screw torque	max.Nm	560/640/720	900
Nozzle contact force	max.kN		70
Nozzle retraction stroke	max.mm	300	400
Installed cylinder heating capacity	W	4x2200	6x2200
Installed nozzle heating capacity	W	600	600
Feed hopper capacity	l		50
<b>Machine Dimensions and Weights</b>			
Oil capacity	l		240
Net weight	kg	4500	4750
Electrical connection (prefused))	<sup>2)</sup> A	100	125

<sup>1</sup> 1st figure: clamping force (kN)

2nd figure: max. stroke volume (cm<sup>3</sup>) x max. injection pressure (kbar)

<sup>2</sup> values relate to 400 V/50 Hz. The load is symmetrically distributed on 3 phases (observe with machine expansion)

<sup>3</sup> calculated with fill factor = 0,8

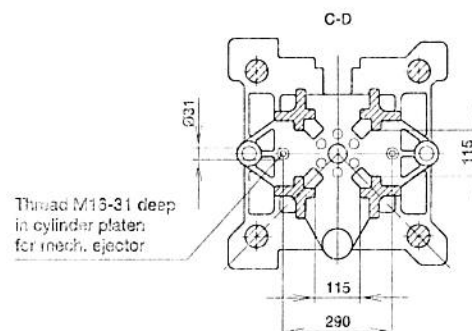
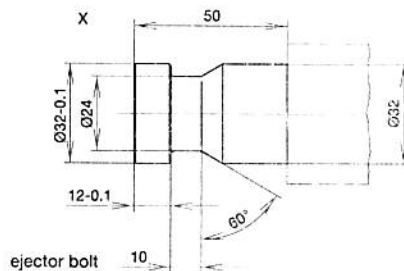
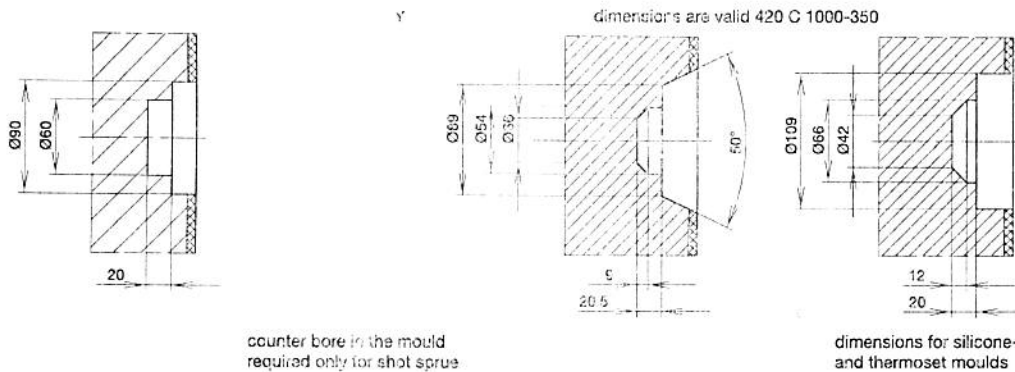
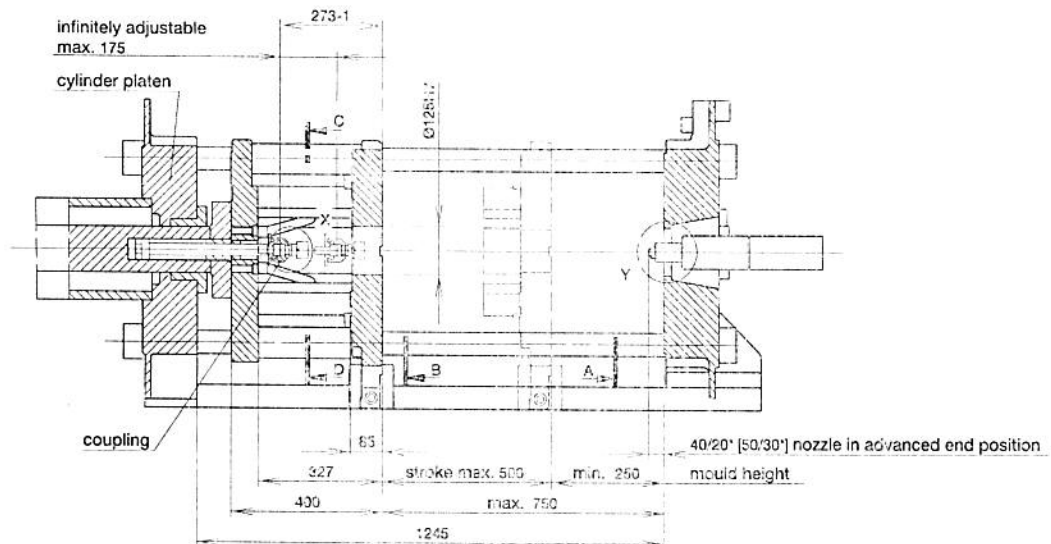
<sup>4</sup> according to Euromap 6, (November 1994)

<sup>5</sup> see injection performance diagram

## 1.1.2 Mould Dimensions

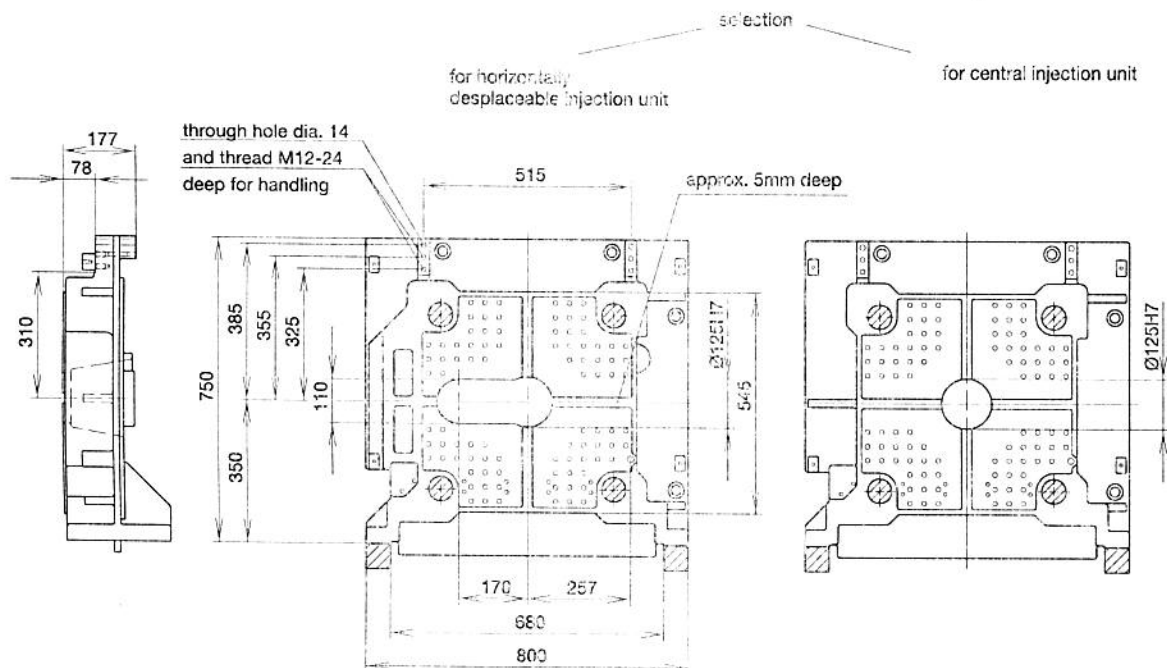
### Mould Dimensions 420 C 1000-350

The technical data supplied corresponds to the revision at the time of print. We reserve the right to make changes in the interest of further development.

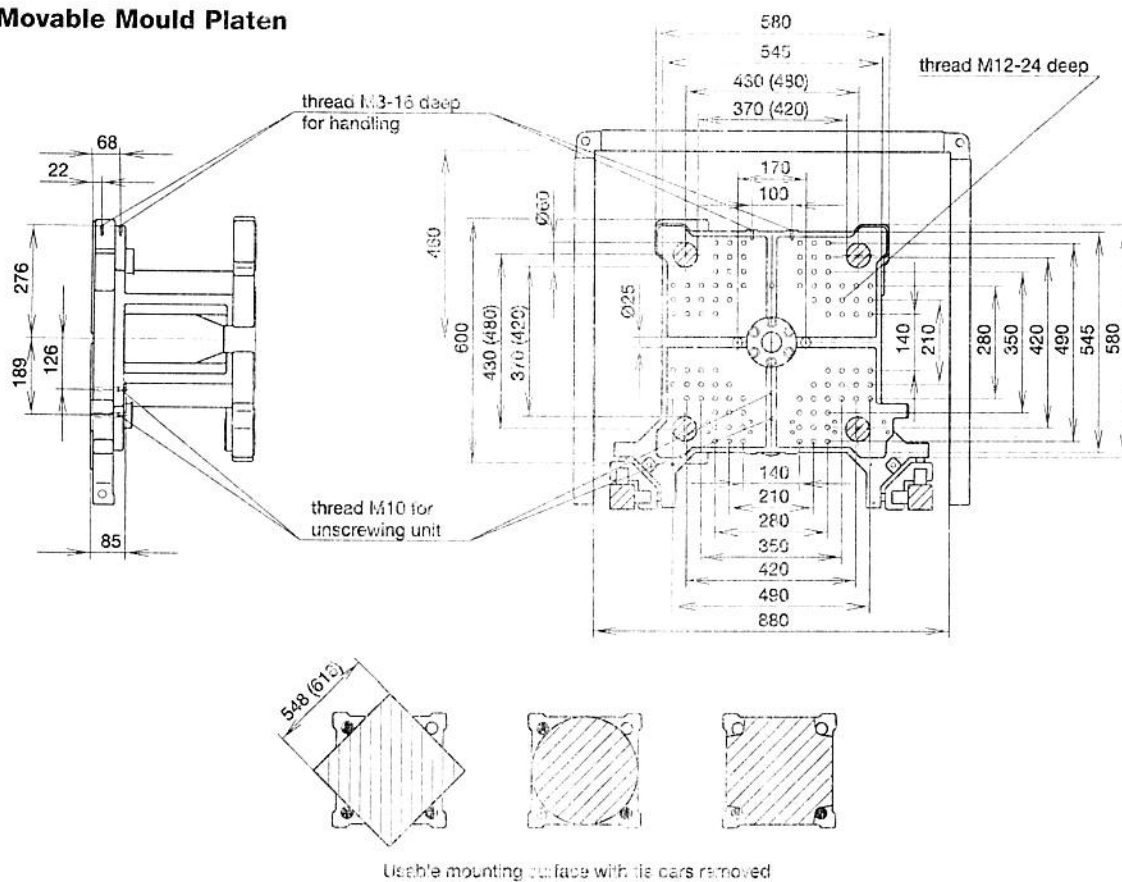


**Fixed Mould Platen**

**1**

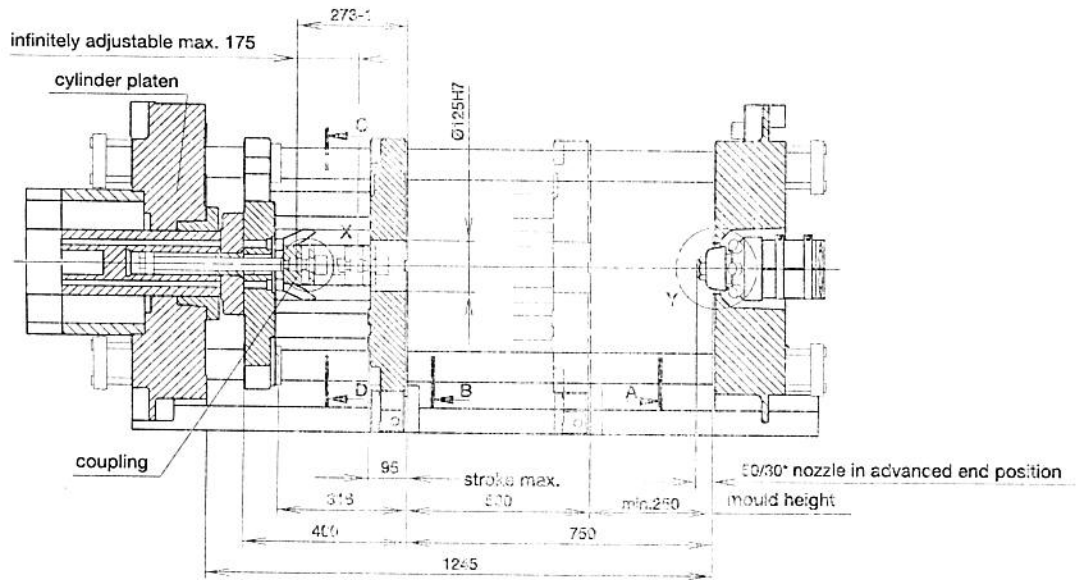


**Movable Mould Platen**

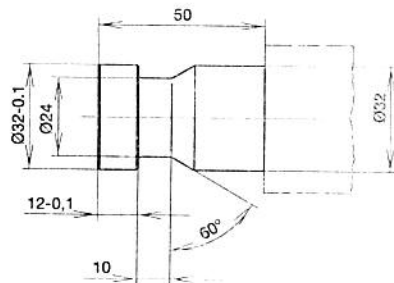


**Mould Dimensions 420 C 1300-350, 1300-675**

The technical data supplied corresponds to the revision at the time of print. We reserve the right to make changes in the interest of further development

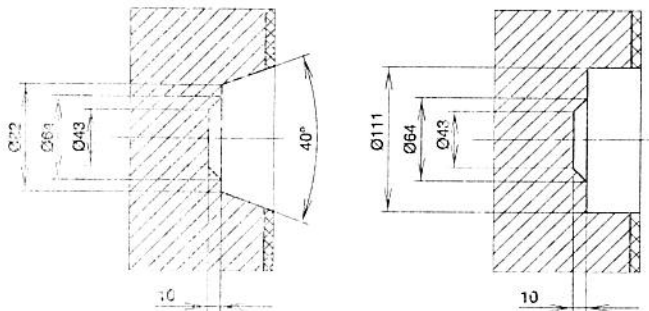


X



ejector bolt

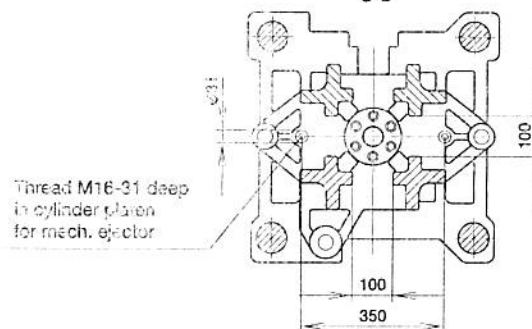
Y



counter bore in the mould  
required only for short sprue

dimensions for silicone-  
and thermoset moulds

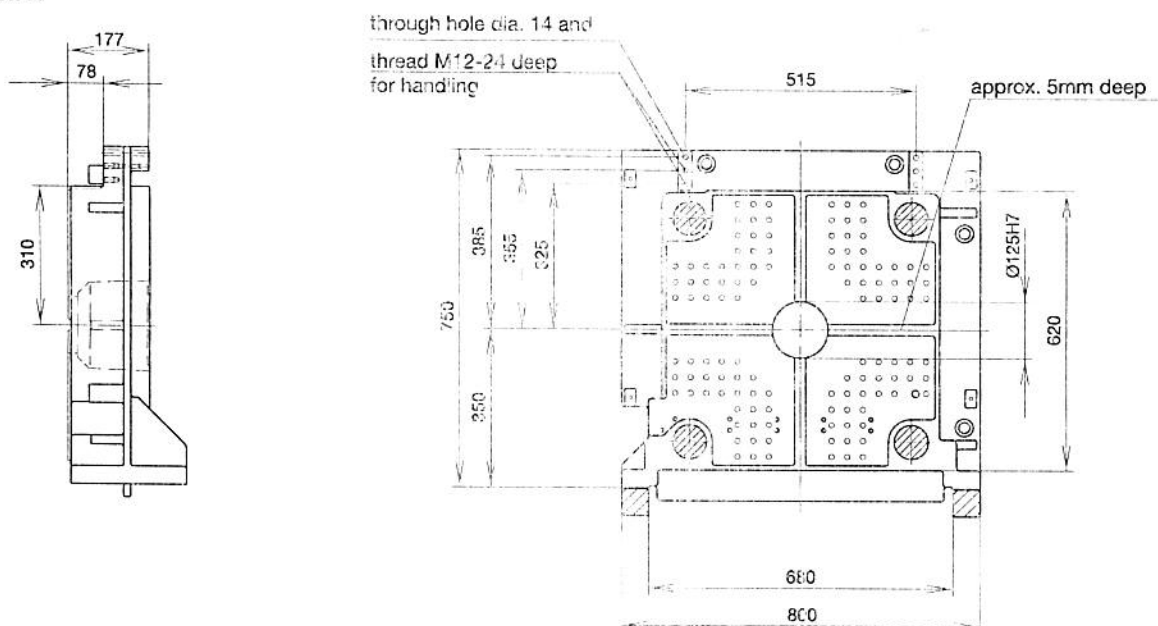
C-D





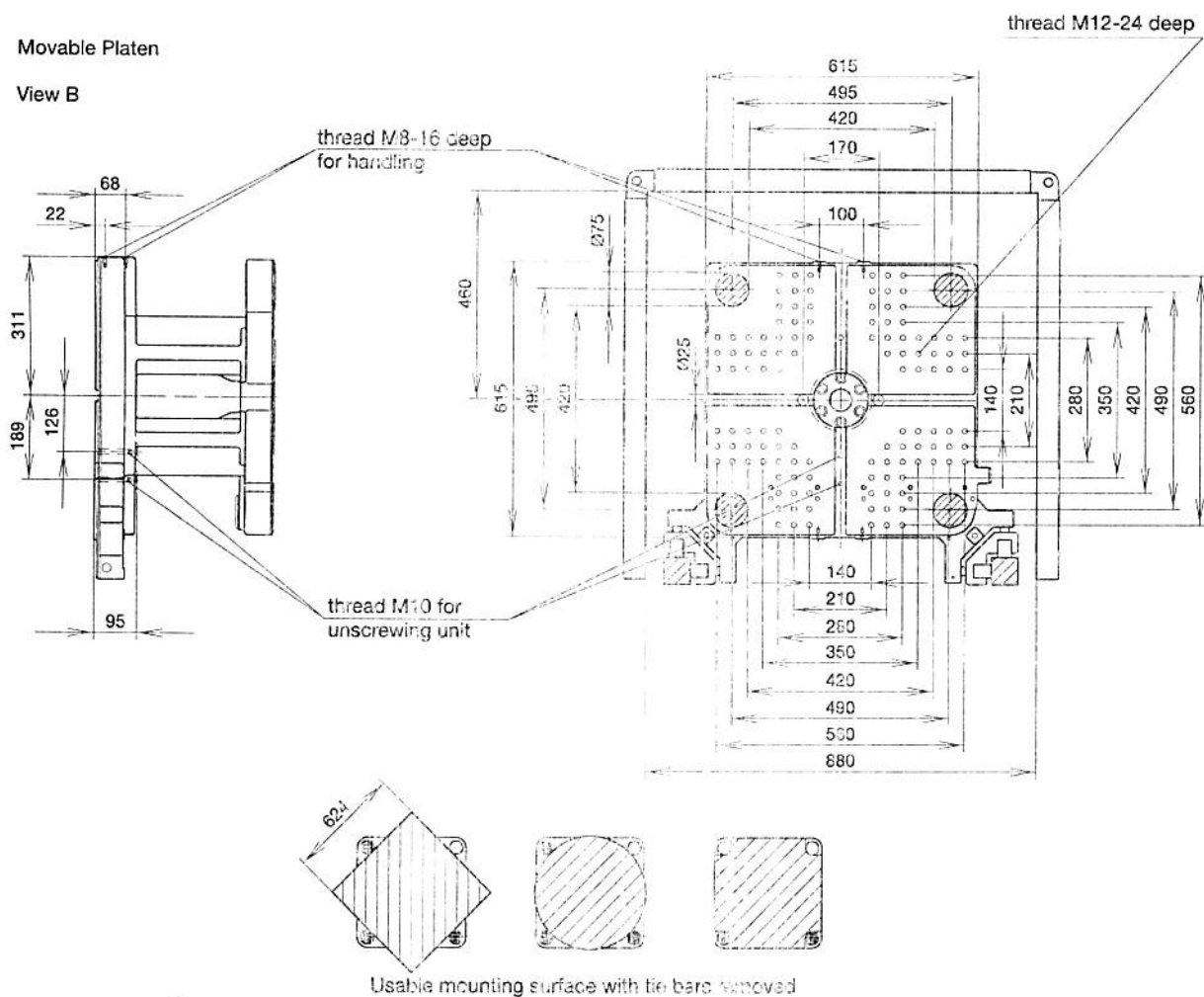
Fixed Platen

View A



Movable Platen

View B



## Elastron V101.A65.B

(Old code: 139.901.A65.VEF)

### TECHNICAL DATASHEET

#### Product Description

A soft, black thermoplastic vulcanizate TPV (EPDM/PP), in the thermoplastic elastomer (TPE) family that offers good physical properties and chemical resistance.

#### General Properties

Color	Black	
Certifications	RoHS	
Processing Method	Extrusion	Injection
Applications	Window Seals	Gaskets
Available Standarts	ASTM	

#### Physical Properties

Property	Unit	Standart	Value
Hardness	SHORE A	ASTM D 2240	65
Density	g/cm <sup>3</sup>	ASTM D 792	0,97
Tensile Strength at Break	MPa	ASTM D 412	6,5
Mod.of Elasticity %100	MPa		2,3
Mod.of Elasticity %300	MPa		4,7
Elongation at break	%		600
Compression Set	% @ 23°C 22 h	ASTM D 395	18
	% @ 70°C 22 h		37
	% @ 100°C 22 h		53
Flammability Rating	HB, V <sub>0</sub> , V <sub>1</sub> , V <sub>2</sub>	UL 94	HB
Tear Resistance	N/mm	ASTM D 624	40

#### Ageing Tests

Ozone Resistance	Stressed	ASTM D 518	No Cracks
------------------	----------	------------	-----------

#### Bondable to

PP, EVA, PE

#### Processing

##### Injection Molding Paramaters

Molding Temperatures	Temperature (°C)
Rear	155 - 175
Center	165 - 185
Front	170 - 190
Nozzle	180 - 210
Mold	25-50
Recommended Predrying	3 hours at 90°C

### Extrusion Molding Parameters

Molding Temperatures	Temperature (°C)
Feed	155 - 165
Rear	160 - 180
Center	165 - 185
Front	170 - 190
Head	180 - 210
Die	185 - 215
Recommended Predrying	3 hours at 90°C

### Additional information

ELASTRON Products are not compatible with PVC and Acetal.

Regrinding level up to %20 is recommended with minimum property loss

Shrinkage		
	Value (%)	Test Standard
Longitudinal Shrinkage	3,25	ASTM D955
Cross Shrinkage	1,08	ASTM D955

#### Notes

The properties shown are typical values and are not intended as product specifications. This statement is only valid for the product mentioned above. We can not guarantee for the final products due to additional processing at your plant which is not under our control.

### ISO 9001:2000& ISO TS 16949 REGISTERED QUALITY SYSTEMS

